

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Ověření brzdných vlastností vybraných osobních
automobilů

Evaluation of Breaking of Selected Vehicles

Student:

Jan Šindel

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Richtář, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Šindel**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Téma: **Ověření brzdných vlastností vybraných osobních automobilů**
Evaluation of Breaking of Selected Vehicles

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretický rozbor problému
3. Návrh experimentu
4. Experimentální měření
5. Zhodnocení a doporučení
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

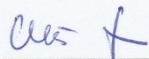
Matějka, R. Vozidla silniční dopravy I. Bratislava: ALFA Bratislava, 1990. ISBN 80-05-00392-7
Vlk, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Brno: Nakladatelství Vlk. 2001
Vlk, F.: Motorová vozidla I. Brno: VUT Brno. 1989. ISBN 80-214-0038-2

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Richtář, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

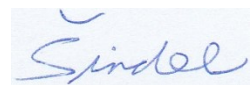


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 18. 5. 2015



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18. 5. 2015



.....
podpis

Jan Šindel

Oblouková 190/27

Polanka nad Odrou

72525

Česká Republika

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠINDEL, J. Ověření brzdných vlastností vybraných osobních automobilů: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2015, 62 s. Vedoucí práce: Ing. Michal Richtář, Ph.D.

Bakalářská práce je zaměřená na ověření brzdných vlastností vybraných osobních automobilů. Cílem této práce, je na vybraném osobním vozidle změřit a porovnat velikost brzdné dráhy, která se měří za předem stanovených podmínek při prudkém provozním brzdění. Velikost brzdné dráhy, je porovnávána mezi zimní a letní sadou pneumatik s vypnutým a následně se zapnutým systémem ABS. V úvodní části práce se nachází teoretický popis pohybu vozidla, teoretický popis funkce brzdy a brzdových systému. V následující kapitole jsou charakterizované podmínky celého experimentu. V závěrečné části jsem naměřená data vyhodnotil a porovnal formou tabulek a grafického zobrazení.

Klíčová slova

Brzdná dráha, letní sada pneumatik, zimní sada pneumatik, ABS

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠINDEL, J. Evaluation of Breaking of Selected Vehicles : Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2015, 62 pages. Thesis head: Ing. Michal Richtář, Ph.D.

Bachelor thesis is focused on verifying the braking performance of selected cars. The aim of this work is selected for a personal vehicle to measure and compare the size of the braking distance, which is measured under predetermined conditions during hard braking operation. Size braking distance is compared between winter and summer tires, set off and then turned on ABS. The introductory part is theoretical description of the vehicle, a theoretical description of the function of the brakes and braking systems. In the following section are characterized by conditions of the experiment. In the final part I measured data are evaluated and compared in tables and graphical display.

Keywords

Breaking distance, summer set of tires, winter tires set, ABS

Obsah

1. Úvod	10
2. Teoretický popis a rozdělení	11
2.1 Teorie pohybu vozidla	11
2.1.1 Jízdní odpory	11
Odpor valení	12
Odpor vzduchu	12
Odpor sklonu	13
Odpor zrychlení	13
Odpor tahu	14
2.1.2 Pohyb vozidla	15
Základní rovnice pohybu vozidla	15
Rovnice pohybu brzděného vozidla	15
2.1.3 Teorie brzdění	16
Brzdná dráha	17
Průběh brzdění	19
2.2 Brzdy	20
2.2.1 Legislativa EHK	20
2.2.2 Brzdové zařízení	23
2.2.3 Rozdělení brzd	24
a) Podle účelu	24
b) Podle přenosu síly	25
c) Podle okruhu	25
2.2.4 Konstrukce brzd	27
Bubnové brzdy	27
Kotoučové brzdy	29
Hlavní brzdový válec	31
Brzdové médium	31
2.2.5 Elektronické brzdové systémy	32
Elektrohydraulický brzdový systém (EHB)	32
Elektromechanický brzdový systém (EMB)	33
2.2.6 ABS (Anti-lock Brake system)	33
Hlavní části ABS	34
Princip činnosti ABS	35

Požadavky na systém ABS.....	35
2.3 Měřicí zařízení Performance Box.....	35
Popis zařízení	36
Základní funkce	36
3 Návrh experimentálního ověření.....	38
3.1 Charakteristika testovaného vozidla	38
3.2 Dynamické zatížení náprav testovaného vozidla	40
3.3 Charakteristika podmínek měření.....	41
3.4 Popis a metodika měření	41
3.5 Počáteční předpoklad měření	43
4 Výsledky měření	45
4.1 Charakteristika naměřených dat	45
4.2 Letní sada pneumatik	46
4.3 Zimní sada pneumatik.....	50
5 Vyhodnocení experimentu	54
6 Závěr a doporučení.....	58
Přehled použité literatury.....	60
Seznam internetových zdrojů.....	61
Poděkování.....	62

Seznam použitých symbolů a jejich jednotek

a	zrychlení vozidla	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$
a_b	brzdné zpomalení	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$
B_p	brzdná síla na přední nápravě	[N]
B_z	brzdná síla na zadní nápravě	[N]
c_x	součinitel odporu vzduchu	[1]
e	rameno valení	[m]
F	výsledná síla závislá na odporech vozidla	[N]
F_b	brzdná síla	[N]
F_T	síla tahu	[N]
F_z	síla působící na kolo	[N]
F_{zp}	radiální reakce na přední nápravě	[N]
F_{zz}	radiální reakce na zadní nápravě	[N]
f	součinitel odporu valení	[1]
G_v	hmotnost vozidla násobená tíhovým zrychlením ($G_v = m_v \cdot g$)	[N]
g	gravitační zrychlení	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$
h	výška těžiště vozidla	[m]
L	rozvor náprav	[m]
l	průměrná brzdná dráha	[m]
l_p	předpokládaná brzdná dráha	[m]
l_z	vzdálenost zadní nápravy od těžiště vozidla	[m]
M_{zk}	krouticí moment	[Nm]
m_v	hmotnost vozidla	[kg]
O_{aPV}	odpor zrychlení přípojného vozidla	[N]
O_f	odpor valení	[N]
O_{fPV}	odpor valení přípojného vozidla	[N]
O_{pos}	odpor posuvného zrychlení celého vozidla	[N]
O_{rot}	odpor zrychlení rotujících částí	[N]
O_s	odpor sklonu	[N]
O_{sPV}	odpor sklonu přípojného vozidla	[N]
O_T	odpor tahu přípojných vozidel	[N]
O_{vz}	odpor vzduchu	[N]
O_{vzPV}	odpor vzduchu přípojného vozidla	[N]
O_{zr}	odpor zrychlení	[N]

r_d	poloměr kola	[m]
S	prvotní předpoklad brzdné dráhy	[m]
S_x	čelní plocha vozidla	[m ²]
s	sklon	[%]
t_n	doba náběhu brzdy	[s]
t_p	doba prodlevy	[s]
t_r	reakční doba řidiče	[s]
t_u	doba plného brzdění	[s]
V	rychlost vozidla	[km·h ⁻¹]
v_0	počáteční rychlost vozidla, ze kterého vozidlo začíná brzdit	[m·s ⁻¹]
v_x	náporová rychlost	[m·s ⁻¹]
ρ	hustota vzduchu	[kg·m ⁻³]
δ	součinitel vlivu rotujících částí	[1]
μ	součinitel adheze	[1]
σ	směrodatná odchylka brzdné dráhy	[1]
α	úhel sklonu	[°]

Seznam použitých zkratk

ABS	Anti-lock Brake Systém
ACEA	European Automobile Manufacturers Association
DOT	Mezinárodní norma
EHK	Evropská Hospodářská Komise
EHB	Elektrohydraulický brzdový systém
EMB	Elektromechanický brzdový systém
EU	Evropská Unie
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standards
GPS	Global Positioning Systém
LCD	Liquid Crystal Display
ISO	International Organization for Standardization
OSN	Organizace Spojených Národů
TDDI	Turbo Diesel Direct Injection
SAE	Society of Automotive Engineers

1. Úvod

Dnešní doba je čím dál více uspěchanější. Velká většina lidí, dnes k zaměstnání nebo také pro vlastní potřebu je nucena využívat osobních nebo firemních vozidel. S těmito potřebami, pochopitelně roste nárok na zvyšování výkonnosti vozů. Se zvýšenými výkonnostními parametry vozů, se také zvyšuje rychlost provozu, což dílčím způsobem ovlivňuje celkovou bezpečnost provozu. Právě jedním z hlavních problémů celkové bezpečnosti provozu je vysoká rychlost. Jestliže s vozidlem dosáhneme určité rychlosti, musíme být z této rychlosti také schopni zabrzdít na bezpečně dlouhé brzdné vzdálenosti, aby nedošlo k ohrožení našeho zdraví a především také provozu. Tato vzdálenost je ovlivněna několika faktory, jako třeba použitím špatné sady pneumatik pro dané období, ale především je to také hlavně selháním lidského faktoru, který se nedá v zásadě žádným technickým prvkem ovlivnit. Jestliže, ale tento jev zanedbáme, tak právě z důvodu dosažení co nejlepších brzdných vlastností, jsou výrobci stále nuceni vyvíjet a dosahovat lepších účinnosti brzd a také celkových brzdových systémů. Právě s nástupem elektronických brzdových systémů, se vývoj značně urychlil a vylepšil. Dnešním úkolem některých elektronických brzdových systémů, není potřeba zajistit to, aby za každých podmínek zkrátily brzdnou dráhu, ale také aby zajistily lepší stabilitu a ovladatelnost vozidla. Tyto požadavky splňuje systém ABS, který při mém experimentu využiji.

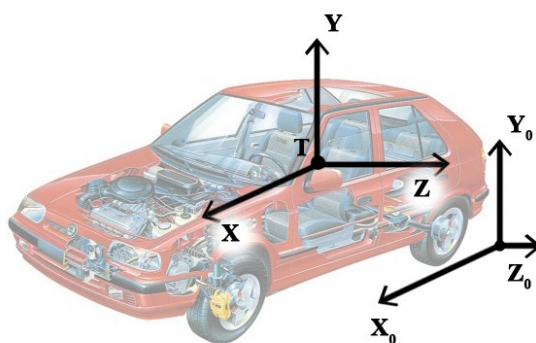
Cílem mé bakalářské práce, je tedy určit a porovnat jednotlivé brzdné vzdálenosti, při prudkém brzdění za předem stanovených podmínek. Měření provedu na letní a následně na zimní sadě pneumatik. Na obou typech pneumatik budu měřit se zapojeným systémem ABS a následně s odpojeným systémem ABS.

Téma této bakalářské práce jsem si vybral z těchto důvodů. První hlavní důvod je takový, že už jsem se několikrát jako řidič ocitnul v situaci, kdy jsem byl nucen prudce zabrzdít. Proto při tomto experimentu spoléhám na to, že si lépe vyzkouším veškeré typy způsobu prudkého provozního brzdění, a na základě této zkušenosti, se zase o něco vylepší moje řidičské schopnosti. Další důvod je takový, že se chci naučit měřit a pracovat s přístrojem Performance Box od firmy Racelogic. V neposlední řadě si také myslím, že moje naměřená data, mohou být v budoucnu pro někoho alespoň částečně přínosná.

2. Teoretický popis a rozdělení

2.1 Teorie pohybu vozidla

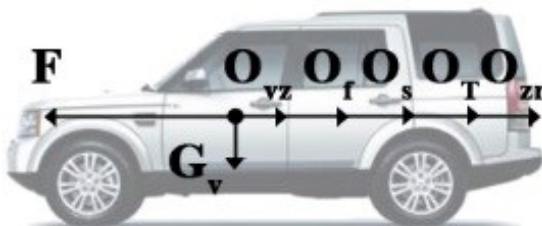
Vozidlo se pohybuje v prostoru jako těleso. Prostor je popsán Kartézským souřadným systémem s osami x_0 , y_0 a z_0 , který je spojen s tímto základním prostorem. Kartézský souřadný systém popsán osami x , y , z je pevně spojen s vozidlem a jeho počátek leží v těžišti vozidla. Jestliže je nutné posuzovat jednotlivé části vozidel samostatně, pak se jim připojí souřadný systém obdobně jako celému vozidlu. [8], [16]



Obr. 1 Souřadný systém vozidla.

2.1.1 Jízdní odpory

Odpory jsou síly působící proti pohybu vozidla. Síly jako odpor valení a odpor vzduchu působí na vozidlo vždy, ale odpor sklonu a odpor zrychlení působí jen za specifických podmínek. [8], [17]



Obr. 2 Odpory a síly působící na vozidlo.

Odpor valení

Tento odpor vzniká jako následek deformace pneumatik při styku kola s pevnou podložkou. Styk kola s podložkou tvoří plochu nazvanou stopa. Na přední straně stopy zpravidla dochází ke stlačování pláště a naopak na zadní straně pak dochází k obnově pláště do kruhového tvaru. [8], [17]

Radiální reakce vozovky F_{zK} je ve stopě přemístěna dopředu a je v jízdním směru posunutá o rameno valení e . Tato reakce společně se svislou silou působící na kolo F_z , tvoří dvojici sil, které odpovídají momentu M_f . Z rovnovážného stavu momentu valení a momentu tvořeného silou, která odpovídá velikosti odporu valení, je potřebné určit sílu, která odpovídá odporu valení O_f . [8], [17]

$$O_f = F_z \cdot \frac{e}{r_d} = G_v \cdot \cos \alpha \cdot \frac{e}{r_d} = G_v \cdot \cos \alpha \cdot f \quad [N] \quad (1)$$

Kde:

$r_d[m]$ - poloměr kola

$e[m]$ - rameno valení

f [1] - součinitel odporu valení

$G_v[N]$ - hmotnost vozidla násobená tíhovým zrychlením ($G_v = m_v \cdot g$)

Odpor vzduchu

Odpor reprezentuje aerodynamické síly, které působí na vozidlo pohybující se prostředím. Hodnota těchto sil je ovlivněna několika faktory, a sice podle tvaru a povrchu vozidla a na základě rozměru vozidla a fyzikálních vlastností prostředí, jako je vzduch a náporová rychlost. Tyto síly jsou závislé na dynamickém tlaku p_d , který se stanovuje na základě Bernoulliho rovnice, čelní ploše vozidla S_x a součiniteli odporu vzduchu c_x . Následně tedy odpor lze definovat: [8], [17]

$$O_{vz} = p_d \cdot c_x \cdot S_x = \frac{1}{2} \rho \cdot v_x^2 \cdot c_x \cdot S_x \quad [N] \quad (2)$$

Kde:

$\rho[kg \cdot m^{-3}]$ - hustota vzduchu

$v_x[m \cdot s^{-1}]$ - náporová rychlost

c_x [1] - součinitel odporu vzduchu

$S_x[m^2]$ - čelní plocha vozidla

Odpor sklonu

U toho odporu se z pravidla vychází ze sil, které působí na těleso na nakloněné rovině. Vozidlo pohybující se po nakloněné rovině svírá s vodorovnou rovinou úhel α a tíhu vozidla G_v , kterou rozložíme podle Kartézského souřadného systému do dvou složek F_x a F_z . Výškové uspořádání vozovky charakterizuje sklon s [%], který je definovaný jako převýšení vozovky označující se písmenem h , a je to vztažené na délku l a jejího průmětu do vodorovné roviny. Sklon udává hodnotu převýšení trati centimetrech na jeden metr délky vozovky. [8], [17]

Pro malé úhly α je možno pokládat rozdíl mezi $\sin \alpha$ a $\operatorname{tg} \alpha$ za zanedbatelný a pokládáme je za rovny. Odpor sklonu je možné potom stanovit podle vztahu:

$$O_s = G_v \cdot s \cdot 10^{-2} \quad [N] \quad (3)$$

Jestliže je sklon vozovky vyšší hodnoty, tak je nutné hodnotu sklonu přepočítat na úhel sklonu vozovky pomocí vzorce $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{s}{100}$ [°] a odpor sklonu lze tedy definovat:

$$O_s = G_v \cdot \sin \alpha = G_v \cdot \sin \alpha \cdot \left(\operatorname{arctg} \frac{s}{100} \right) \quad [N] \quad (4)$$

Kde:

s [%] - sklon

α [°] - úhel sklonu

Odpor zrychlení

Na základě změny rychlosti vozidla, na něho působí setrvačné síly tvořící odpor zrychlení. Odpor zrychlení má dvě složky, a sice odpor zrychlení posouvajících hmot O_{pos} a odpor zrychlení rotujících hmot O_{rot} . Odpor zrychlení, které při zrychlení kladou posouvající hmoty je určený vztahem: [8], [17]

$$O_{pos} = m_v \cdot a \quad [N] \quad (5)$$

Abychom byli schopni při změně rychlosti překonat odpor rotujících částí daného vozidla, tak je nutné na kola přivodit krouticí moment M_{zK} , který získáme sečtením

momentů pro zrychlení veškerých částí, které rotují. Abychom si ulehčili situaci, tak je dobré si vozidlo rozdělit podle základních rotujících částí. Rozdělit si to můžeme na rotující části vozidlového motoru značené I_{SM} , a dále na rotující části převodového ústrojí označované $I_{PÚ}$ a kola vozidla se setrvačným momentem označíme I_{Ki} . Jednotlivé díly motoru a převodových ústrojí jsou s koly vázána převodem o hodnotě $i_{PÚ}$. Odpor zrychlení rotujících částí je tedy možné obecně vyjádřit: [8], [17]

$$O_{rot} = \frac{M_{zK}}{r_d} \quad [N] \quad (6)$$

Celkový odpor zrychlení je tedy možno vyjádřit vztahem:

$$O_{zr} = O_{pos} + O_{rot} = m_v \cdot a + \frac{M_{zK}}{r_d} = m_v \cdot a + \left(1 + \frac{M_{zK}}{m_v \cdot r_d}\right) = \delta \cdot m_v \cdot a \quad [N] \quad (7)$$

Kde:

O_{pos} [N] - odpor posuvného zrychlení celého vozidla

O_{rot} [N] - odpor zrychlení rotujících částí

M_{zK} [Nm] – krouticí moment

a [$m \cdot s^{-2}$] - zrychlení vozidla

m_v [kg] - hmotnost vozidla

r_d [m] - poloměr kola

δ [1] - součinitel vlivu rotujících částí

Odpor tahu

Je to síla, již způsobuje přípojně vozidlo na motorové vozidlo. Síla je definována působením odporů jako u motorového vozidla, které jsme popsali v předchozích odstavcích. Odpor tahu je možno vyjádřit vztahem: [8], [17]

$$O_T = O_{fPV} + O_{sPV} + O_{vzPV} + O_{aPV} \quad [N] \quad (8)$$

Kde:

O_{fPV} [N] - odpor valení přípojně vozidla

O_{sPV} [N] - odpor sklonu přípojně vozidla

O_{vzPV} [N] - odpor vzduchu přípojně vozidla

O_{aPV} [N] - odpor zrychlení přípojně vozidla

O_T [N] - odpor tahu přípojných vozidel

Samostatně se vyjadřujeme odpor tahu převážně jen u jízdních souprav se zřejmým působením přípojných vozidel (tahač + přívěs, traktor + přívěs). U těchto motorových vozidel se síly v tahu F_T vyjadřují samostatně. Představují významnou užitnou vlastnost těchto vozidel. [8], [17]

$$F_T = F_K - O_f - O_{vz} \quad [N] \quad (9)$$

2.1.2 Pohyb vozidla

Základní rovnice pohybu vozidla

Rovnice, která je základní pro pohyb silničního vozidla, je daná z rovnováhy podélných sil, které působí na vozidlo. Velikost výsledné síly F je závislá na velikosti jednotlivých jízdních odporů vozidla. Pro samostatně jedoucí vozidlo lze obecně vyjádřit, že výsledná síla je rovna součtu jednotlivých jízdních odporů: [8], [17]

$$F = O_f + O_s + O_{vz} + O_{zr} \quad [N] \quad (10)$$

$$F = G_v \cdot f \cdot \cos \alpha + G_v \cdot \sin \alpha + 0,05 \cdot c_x \cdot S_x \cdot V^2 + \frac{G_v}{g} \cdot a \cdot \delta \quad [N] \quad (11)$$

Rovnice pohybu brzděného vozidla

Síla F_b , která vzniká vlastními brzdami vozidla, je součtem všech brzdných sil, které působí na jednotlivých kolech, přesněji působí ve styku kola s vozovkou. Velikost této síly je ještě omezena adhezí $\mu[-]$. [8]

$$F = F_b + O_f + O_s + O_{vz} + O_{zr} \quad [N] \quad (12)$$

$$F = G_v \cdot \mu + G_v \cdot f \cdot \cos \alpha + G_v \cdot \sin \alpha + 0,05 \cdot c_x \cdot S_x \cdot V^2 + \frac{G_v}{g} \cdot a \cdot \delta \quad [N] \quad (13)$$

Kde:

F_b [N] – brzdná síla

μ [1] – součinitel adheze

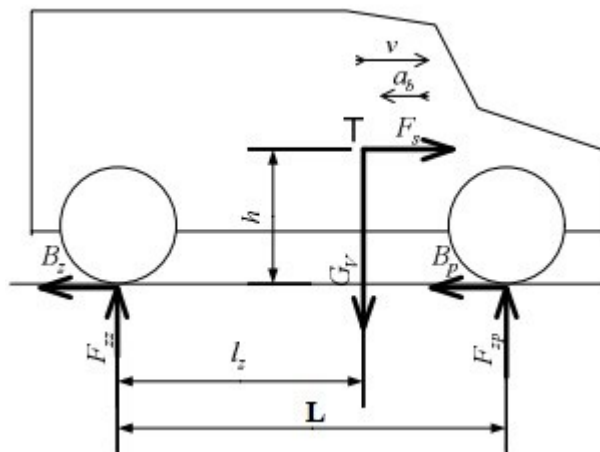
V [$km \cdot h^{-1}$] – rychlost vozidla

g [$m \cdot s^{-2}$] – tíhové zrychlení

2.1.3 Teorie brzdění

Brzdový systém je jedním z nejdůležitějších systému ve vozidle. Tento systém se řadí mezi prvky aktivní bezpečnosti. Vozidlo musí být schopné spolehlivě zpomalit nebo úplně zastavit, protože je to jeden ze způsobů, jak ovlivnit bezpečnost provozu. Hlavním úkolem brzd a brzdového systému je dosáhnout brzdného účinku, který je schopen zmařit značnou část kinetické energie vozidla. Brzdící účinek je způsoben třením brzdových částí o ocelový buben nebo kotouč. [6]

Při sešlápnutí ovládacího členu brzdy vzniká odpor zrychlení, který vytváří v těžišti vozidla moment, a ten způsobuje přídavné zatížení přední nápravy a odlehčuje zadní nápravu. Pro jednodušší výpočet dynamického zatěžování náprav, budeme počítat jen s odporem setrvačnosti a brzdou silou. Ostatní odpory momentálně zanedbáme.



Obr. 3 Síly působící na vozidlo při brzdění [7]

$$F_{zp} \cdot L - F_s \cdot h - G_v \cdot l_z = 0 \quad (14)$$

$$-F_{zz} \cdot L - F_s \cdot h + G_v \cdot l_p = 0 \quad (15)$$

$$F_{zp} = G_v \cdot \left(\frac{a_b \cdot h}{g \cdot L} + \frac{l_z}{L} \right) [N] \quad (16)$$

$$F_{zz} = G_v \cdot \left(1 - \frac{l_z}{L} - \frac{a_b \cdot h}{g \cdot L} \right) [N] \quad (17)$$

$$B_p = F_{zp} \cdot \mu \quad [N] \quad (18)$$

$$B_z = F_{zz} \cdot \mu \quad [N] \quad (19)$$

Kde:

$F_{zp}, F_{zz} [N]$ – radiální reakce na nápravách

$B_p, B_z [N]$ – brzdné síly

$a_b [m \cdot s^{-2}]$ – brzdné zpomalení

$h [m]$ – výška těžiště vozidla

$l_z [m]$ – vzdálenost zadní nápravy od těžiště vozidla

$L [m]$ – rozvor náprav

Z výše uvedených vztahů je patrné, že poloha těžiště a vzdálenost mezi nápravami nám značným způsobem ovlivňuje dynamické zatížení náprav při brždění. Za normálních provozních podmínek je nerealistické, abychom dosáhli rovnoměrného zatížení náprav a konstantního zatížení jednotlivých kol.

Brzdná dráha

Vozidlo jedoucí počáteční rychlosti musí být schopno zcela zastavit na určité vzdálenosti, této vzdálenosti říkáme brzdná dráha. Tento základní parametr je závislý na mnoha faktorech, jako je například rychlost řidičovy reakce, přilnavostí pneumatik a použitím správné sady pneumatik. [11]

Nezbytná dráha pro zastavení vozidla je složena ze dvou částí, a sice s reakční dráhy a vlastní brzdné dráhy. Reakční dráha je vzdálenost, již řidič urazí od momentu, kdy rozpozná kritickou situaci, až po okamžik kdy ji zpracuje a začne brzdit. Tento okamžik trvá orientačně jednu sekundu, vše je závislé na rychlosti řidičovy reakce. V tomto časovém úseku, se však vozidlo nadále pohybuje stejnou nezměněnou rychlosti, dokud řidič nezačne brzdit. Velikost brzdné dráhy se odvíjí především od počáteční rychlosti vozidla, ale také je závislá na několika dalších faktorech, jak již bylo popsáno. Pro názornost je možné sestavit orientační tabulku hodnot brzdných drah, na základě průměrného zjištění. [11]

Tab. 1 Orientační hodnoty brzdných drah, závislé na rychlosti a typu povrchu. [11]

Silnice	Aktuální rychlost vozu	Reakční dráha	Brzdná dráha	Dráha zastavení
Suchá	50 km/h	14 m	14 m	28 m
	60 km/h	17 m	20 m	37 m
	80 km/h	22 m	35 m	57 m
Mokrá	50 km/h	14 m	19 m	33 m
	60 km/h	17 m	28 m	45 m
	80 km/h	22 m	49 m	71 m
Náledí	50 km/h	14 m	64 m	77 m
	60 km/h	17 m	93 m	110 m
	80 km/h	22 m	165 m	187 m

Brzdná dráha, dále tedy doba plného brzdění a náběhu brzdy je ovlivněna adhezí (přilnavostí) pneumatik. Adheze je charakterizována součinitelem soudržnosti, což je síla, která je schopna přenést styk kolo-vozovka a síla je omezena vlastnostmi tohoto dotyku. Tyto vlastnosti jsou charakterizované součinitelem, který se nazývá součinitel adheze. Maximální hodnotu součinitele adheze ovlivňují faktory, jako jsou vlastnosti povrchu pláště a vozovky. Přibližné hodnoty součinitele adheze podle povrchu vozovky jsou uvedeny v tabulce. [7]

Tab. 2 Součinitel adheze μ závislý na typu povrchu. [11]

Povrch		Součinitel adheze μ
Suchý	beton	0,8 - 1,0
	asfalt	0,6 - 0,9
	dlažba	0,6 - 0,9
Mokrý	beton	0,5 - 0,8
	asfalt	0,3 - 0,8
	dlažba	0,3 - 0,5
Náledí	0 [°C]	0,05 - 0,1
	-10 [°C]	0,08 - 0,15
	-20 [°C]	0,15 - 0,20
Sníh		0,2 - 0,4

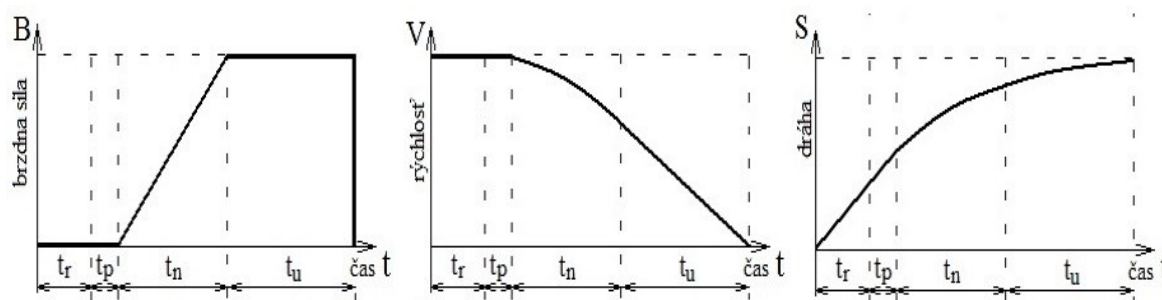
Jeden z dalších faktorů, který se jednoznačně podílí na délce brzdné dráhy, je správné používání zimních a letních pneumatik dle ročního období. Z pravidla se uvádí, že kritická hranice pro použití zimních pneumatik je 7 °C, protože od tohoto teplotního stupně se výkon letních pneumatik výrazně zhoršuje. Letní pneumatika, která je provozována v zimním období s klesající teplotou díky rozdílnému obsahu směsi letní a zimní pneumatiky tuhne, a tvrdý povrch pneumatik dobře nepřilne k povrchu vozovky, proto více klouže, ale hlavně dojde k výraznému prodloužení brzdné dráhy. Naopak od hranice 7 °C a výše je

odborníky doporučeno využívat letní pneumatiky, protože zimní pneumatika se kvůli vyšším teplotách mnohem více rozpíná a dochází k horším jízdním vlastnostem, vyššímu opotřebení pneumatik, ale hlavně opět k prodloužení brzdné dráhy. [11], [14]

Letní sada pneumatik je tedy schopna dosáhnout kratší brzdné vzdálenosti v průměru až o 8,5 metru. Když pokusy byly prováděny na sněhu, tak se však situace radikálně obrátila. Předpisově dobré zimní pneumatiky jsou schopny v průměru zastavit z rychlosti 50 km/h na brzdné vzdálenosti až 70 metrů, přičemž zimní pneumatiky zastaví již na 35 metrech. Abychom dosáhli co nejkratší brzdné vzdálenosti, je tedy také důležité dbát na pravidelnou výměnu pneumatik, na správnou hloubku dezénu pneumatiky a v neposlední řadě také na správný tlak v pneumatikách. [11], [14]

Průběh brzdění

Průběh brzdění vozidel lze popsat pomocí grafického průběhu brzdného zpomalení nebo také brzdné síly v závislosti na čase nebo na dráze. Průběh brzdění je rozdělen do několika fází, které jsou ohraničené jednotlivými dobami. [1]



Obr. 4 Průběh brzdění závislý na čase. [1]

Reakční doba t_r je časový interval od přijetí impulsu pro brzdění řidičem, až do okamžiku zahájení silového působení na ovládací část brzdy. Tato reakce řidiče bývá ovlivněna několika osobními faktory jako třeba soustředění, fyzická stránka řidiče, prostorové uspořádání ovládání brzy atd. U automobilů se počítá s hodnotou reakční doby v intervalu $t_r \in \langle 0,7; 1,3 \rangle$ [s]. [1]

Doba prodlevy t_p je časový interval od okamžiku začátku silového působení na ovládací člen brzdy, až po okamžik vzniku působení brzdné síly. V praxi se počítá s hodnotami $t_p' 0,05$ [s] pro brzdy, které jsou vybaveny hydraulickým převodem a $t_p' 0,15$ [s] pro brzdy vybavené pneumatickým převodem. [1]

Doba náběhu brzdění t_n je časový interval od okamžiku vzniku působení brzdné síly, až po její stabilizování na určené hodnotě. Pro výpočty je možno pracovat s hodnotami $t_n' 0,15$ [s], pro brzdy vybavené hydraulickým převodem a pro brzdy s pneumatickým převodem je $t_n' 0,2$ [s]. [1]

Doba plného brzdění t_u je časový interval od okamžiku, kdy je zpomalení vozidla konstantní, až do úplného zastavení vozidla. [1]

2.2 Brzdy

Brzda je technické zařízení, které slouží k zastavení nebo zpomalení pohybujícího se vozidla, ale také slouží pro jeho udržení v klidové pozici. Kinetická energie je při brzdění přeměňována v rozdílný druh energie a další část energie se při brzdění vždy nevratně přemění v teplo. Brzdy mají velký význam především u dopravních prostředků, ale s brzdami se lze setkat i u nejrůznějších strojních zařízení.

2.2.1 Legislativa EHK

Na každé brzdové zařízení, jsou kladené požadavky, které jsou stanovené zákonem a vyhláškami. Veškeré požadavky jsou v souladu s předpisy Evropské Hospodárné Komise.

Do této kapitoly jsem uvedl citace přesného znění několika požadavků, platných dle předpisu EHK OSN č. 13-H. Veškeré požadavky tohoto předpisu se týkají pouze osobních motorových vozidel z hlediska brzdění:

- „Brzdové zařízení musí být konstruováno, vyrobeno a namontováno takovým způsobem, aby v normálních provozních podmínkách mohlo vozidlo vyhovět ustanovením tohoto předpisu, a to i při vibracích, kterým může být vystaveno.
- Zvláště musí být brzdové zařízení konstruováno, vyrobeno a namontováno tak, aby odolávalo korozi a stárnutí, kterým je vystaveno.
- Brzdová obložení nesmějí obsahovat asbest.

- *Funkce a účinky brzdového zařízení, včetně elektrického ovládacího vedení, nesmějí být nepříznivě ovlivněny magnetickými nebo elektrickými poli. To je nutno prokázat splněním požadavků předpisu č. 10 ve znění série změn 02.*
- *Musí být možné vyvinout maximální brzdné síly na stojícím vozidle, a to na vozidlovém dynamometru nebo na válcové zkušební brzd.*
- *Provozní brzdění musí umožňovat ovládání pohybu vozidla a jeho zastavení bezpečným, rychlým a účinným způsobem, bez ohledu na rychlost, zatížení a velikost sklonu stoupání nebo klesání svahu. Jeho účinek musí být odstupňovaný. Řidič musí být schopen vykonat toto brzdění ze svého místa sedění, aniž by sejmul ruce z ovládacího orgánu řízení.*
- *Nouzové brzdění musí umožňovat zastavení vozidla v přiměřené vzdálenosti v případě selhání provozního brzdění. Musí být odstupňované. Řidič musí být schopen vykonat toto brzdění ze svého místa sedění, aniž by sejmul ruce s ovládacího orgánu řízení. Pro účely tohoto ustanovení se připouští, že současně se nemůže vyskytovat více než jedna porucha v systému provozního brzdění.*
- *Soubor brzdových zařízení, jimiž je vozidlo vybaveno, musí splňovat požadavky na provozní, nouzové a parkovací brzdění.*
- *Systémy zajišťující provozní, nouzové a parkovací brzdění mohou mít společné části, pokud vyhoví následujícím ustanovením:*
 - *musí mít nejméně dva na sobě nezávislé ovládací orgány snadno dosažitelné řidičem z jeho normální polohy při jízdě. Každý ovládací orgán brzd musí být konstruován tak, aby se při uvolnění vrátil do výchozí klidové polohy. Tento požadavek neplatí pro ovládací orgán parkovací brzdy, pokud je mechanicky zajištěn v poloze pro brzdění;*
 - *ovládací orgán systému provozního brzdění musí být nezávislý na ovládacím orgánu systému parkovacího brzdění;*
 - *Vlastnosti spojení mezi ovládacím orgánem systému provozního brzdění a různými částmi převodů se nesmějí změnit po určité době používání;*
 - *Při porušení kterékoliv součásti jiné než jsou brzdy (ve smyslu odstavce 2. 6. tohoto předpisu) nebo součásti uvedené dále v odstavci 5.2.2.10, nebo při jakékoliv jiné poruše v systému pro provozní brzdění (špatná funkce, částečné nebo celkové vyčerpání zásoby energie), musí být schopna ta část systému provozního brzdění, která není dotčena poruchou, zastavit vozidlo za podmínek požadovaných pro nouzové brzdění.*

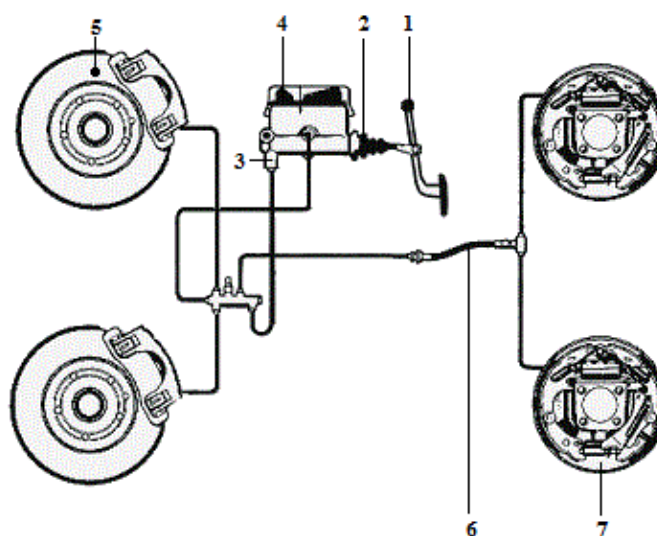
- *Porucha části systému hydraulického převodu musí být signalizována řidiči zařízením, dávajícím výstražný signál červeným světlem, které se rozsvítí před tím nebo při tom, když vznikne mezi neporušeným a porušeným systémem tlakový rozdíl nepřesahující 15,5 bar, měřeno na výstupu z hlavního brzdového válce. Toto výstražné světlo musí svítit tak dlouho, dokud porucha trvá a spínač zapalování (spouštění) je v poloze „zapnuto“ (spouštění).*
- *Systém provozního brzdění musí působit na všechna kola vozidla a musí rozdělovat brzdný účinek příslušným způsobem mezi nápravy.*
- *Účinek systému provozního brzdění musí být rozdělen mezi kola jedné a téže nápravy symetricky vzhledem k podélné střední rovině vozidla. Kompenzace a funkce, jako protiblokovací zařízení, které mohou způsobit odchylky od tohoto symetrického rozdělení, se musí uvést v prohlášení.*
- *Systém provozního brzdění, systém nouzového brzdění a systém parkovacího brzdění musí působit na brzdné plochy trvale připojené ke kolům částmi dostatečně pevné konstrukce.*
- *Musí být možné snadno zkontrolovat opotřebení obložení provozních brzd, zvnějšku nebo zespodu vozidla, s použitím pouze nářadí nebo prostředků dodávaných normálně s vozidlem, například vhodnými kontrolními otvory nebo jinými opatřeními.*
- *Systém provozního brzdění musí mít jen jediné ovládací zařízení.*
- *Systém provozního brzdění se nesmí nepříznivě ovlivnit odpojením motoru (motorů) nebo zařazením určitého rychlostního stupně.*
- *U vozidel s protiblokovacím zařízením musí protiblokovací zařízení řídit systém elektrického brzdění.*
- *Všeobecné požadavky na optickou výstražnou signalizaci, jejíž funkcí je signalizovat řidiči určité specifické poruchy (nebo závady) v brzdovém zařízení motorového vozidla, nebo popřípadě jeho přípojného vozidla *), jsou uvedeny v následujících pododstavcích. Na rozdíl od toho, co je uvedeno v odstavci 5.2.21.5 dále musí se tato signalizace použít výhradně pro účely stanovené tímto předpisem.“ [citace 5]*

Tab. 3 Požadavky na účinek brzdových systému podle EHK č. 13H. [5]

Provozní brzdění pro osobní automobil M1		
Zkouška typu 0 s odpojeným motorem	Síla působící na brzdový pedál	65 – 500 [N]
	Maximální brzdná dráha	$0,1 \cdot v_0 + 0,0060 \cdot v_0^2$ [m]
	Minimální brzdné zpomalení	6,43 [m.s ⁻²]
Zkouška typu 0 se zapojeným motorem	Síla působící na brzdový pedál	65 – 500 [N]
	Maximální brzdná dráha	$0,1 \cdot v_0 + 0,0067 \cdot v_0^2$ [m]
	Minimální brzdné zpomalení	5,67 [m.s ⁻²]
Nouzové brzdění pro osobní automobil M1		
Zkouška typu 0 s odpojeným motorem	Maximální ovládací síla	400 [N]
	Maximální brzdná dráha	$0,1 \cdot v_0 + 0,0158 \cdot v_0^2$ [m]
	Minimální brzdné zpomalení	2,44 [m.s ⁻²]
Maximální doba náběhu brzdy		0,6 [s]

2.2.2 Brzdové zařízení

Brzdové zařízení tvoří všechny brzdové soustavy, které jsou montovány na vozidla, jejichž hlavní funkcí je snížení rychlosti pohybujícího se vozidla a jeho zastavení, nebo zajištění již stojícího vozidla. Brzdění vozidla je zpravidla záměrně vyvolané tření mezi rotujícími a pevnými částmi motorového vozidla, například mezi brzdovým kotoučem a brzdovými deskami. Tímto třením se pohybová energie mění v třecích částech v energii tepelnou, která se odvádí do ovzduší, jinak by došlo k poškození brzd. [4]



Obr. 5 Schéma hydraulického brzdové zařízení pro osobní automobily [4]

Na obr. 5 je znázorněno hydraulické brzdové zařízení pro osobní automobily, které je ovládáno pomocí brzdového pedálu (1), ovládním brzdového pedálu vznikne v hlavním válci (3) tlak, který je posílen posilovačem brzd (2). Brzdová kapalina následně proudí z nádrže (4) do brzdových válečků, které přitlačují brzdové čelisti na brzdové kotouče (5) a na brzdové bubny (7). Ke zlepšení jízdních vlastností brzděného vozidla slouží regulátor brzdné síly (6). [4]

2.2.3 Rozdělení brzd

Brzdy rozdělujeme podle toho jaký plní účel, nebo způsobu přenášení síly, a podle jejich zapojení do okruhu.

a) Podle účelu

Provozní brzda

Provozní brzda má za úkol snížit rychlost vozidla a případně dosáhnout jeho úplného zastavení. Používá se v běžném provozu ve všech režimech jízdy. Je obvykle ovládána nohou a působí současně na všechna kola vozidla. [13]

Parkovací brzda

Parkovací brzda zajišťuje stojící vozidlo proti samovolnému pohybu na vozovce nebo na vozovce se sklonem, přítomnosti řidiče. Mechanické propojení mezi brzdou a ovládacím prvkem se nejčastěji používají lanka nebo tyče. [13]

Nouzová brzda

Funkce nouzové brzdy je taková, že při selhání provozní brzdy musí být schopna alespoň částečně nahradit její funkci, i když s jednoznačně menším brzdícím účinkem. Zpravidla musí působit alespoň na jedno kolo a to s každé strany vozidla. Jako nouzovou brzdou je možné využít plynule odstupňovanou parkovací brzdou a také neporušený okruh dvouokruhové provozní brzdy. [13]

Odlehčovací brzda

Úkolem odlehčovací brzdy je udržení stálé rychlosti vozidla nebo snižování rychlosti podle potřeby. Nesmíme zapomenout, že jejím úkolem je vozidlo jen zpomalit, ale ne zastavit. Hlavní využití je při dlouhodobé jízdě z kopce, čímž zvyšuje účinek a šetří nám provozní brzdu. Nejčastější technická realizace bývá motorová brzda. [13]

b) Podle přenosu síly

Přímočinné

Brzdná síla je zpravidla vytvářena vlastní silou řidiče na pedál nebo pákou brzdy a je přenášena přímo na brzdu kola. Brzdnou sílu lze přenést mechanicky (lanko, tyč) nebo hydraulicky (tzv. Kapalinové brzdy). Nejčastější využití je na motocyklech. [3]

Přímočinné s posilovačem

Brzdná síla, kterou řidič vytváří je prostřednictvím posilovače zesílená. Zesílený účinek je přenášen přes hlavní brzdový válec do brzdových válců na kolech. Posilovač je podtlakový nebo přetlakový. Nejčastější využití je u osobních a malých užitkových automobilů. [3]

Nepřímočinné

Je to soustava se vzduchovým převodem síly. Síla je zpravidla dodávána alespoň jedním zařízením pro dodávku energie a je ovládaná regulovatelným množstvím stlačeného vzduchu v brzdových okruzích. Řidič tento brzdící účinek jen ovládá. Nejčastější využití je v nákladních automobilech a autobusech. [3]

c) Podle okruhu

Jednookruhové

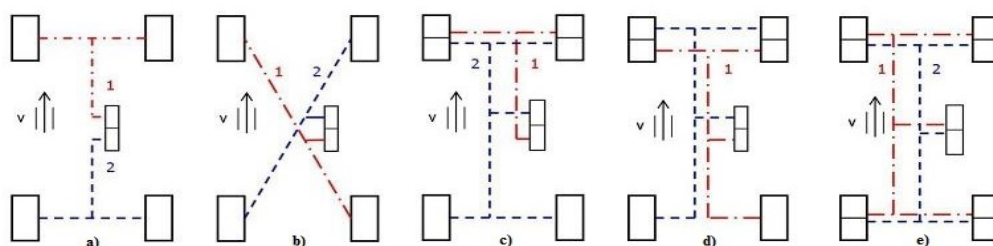
Využívá pouze jeden brzdový okruh. Když dojde k jeho selhání, brzda se stane nefunkční. Z důvodu této velké nevýhody se dnes jeden brzdový okruh nepoužívá a také legislativní požadavkem nařizuje minimálně dvouokruhové provedení. [15]

Více okruhové

Využívá více nezávislých okruhů na sobě. Využitím více nezávislých okruhů ovšem zvyšujeme hmotnosti vozidla, a s tím jsou spojené větší výrobní náklady, které brání v jeho dalším vývoji. [15]

Dvouokruhové

Z důvodu bezpečnosti, bylo stanoveno zákonnými předpisy, aby každé vozidlo bylo vybaveno nejméně dvěma na sobě nezávislými brzdovými zařízeními. Existuje několik možností technických provedení dvouokruhových brzdových soustav, s předpokladem, že jsou brzděny všechna čtyři kola. Dané technické provedení jednotlivých okruhů jsou označeny velkými písmeny, jejichž výběr je podobný uspořádání brzdového vedení mezi hlavním brzdovým válcem a jednotlivými brzdami kol. Jednotlivé technické provedení jsou znázorněny na obr. 6: **TT**, **X**, **HI**, **LL** a **HH**. [15]



Obr. 6 Jednotlivé uspořádání dvouokruhových brzdových soustav. [15]

a) přední náprava – zadní náprava (TT)

Brzdění přední a zadní nápravy je způsobeno zcela oddělenými okruhy. Nastane-li situace, že se porouchá přední okruh, vytvoří se velice malý účinek neporušeným okruhem zadních brzd. Je možné na všech kolech použití bubnových nebo kotoučových brzd nebo kombinaci, kdy přední náprava bude osazena kotoučovými brzdami a zadní náprava bubnovými brzdami. Tento okruh má značnou nevýhodu zapojení, protože jestli se jeden okruh porouchá, tak dojde k zásadním změnám ovladatelnosti vozidla, což může vést k ohrožení silničního provozu. Brzdné síly mezi přední a zadní nápravou jsou rozloženy v poměru asi 70%:30%. [15]

b) diagonální zapojení (X)

Diagonální zapojení je jak po technické tak ekonomické stránce nejvýhodnějším řešením. Jestliže dojde k selhání jednoho brzdového okruhu, tak je brzděno jedno z předních kol zároveň s diagonálně ležícím zadním kolem. V tomto případě ale vzniká stáčivý moment kolem svislé osy. Tato nevýhoda stáčivého momentu se odstraňuje pomocí záporného poloměru zatáčení. [15]

c) trojúhelníkové zapojení (LL)

V trojúhelníkovém zapojení „LL“ je každé přední kolo brzděno oběma okruhy. Při poruchovém stavu jakéhokoli okruhu jsou pokaždé bržděny přední kola. Brzdné síly mezi 1. okruhem a 2. okruhem jsou rozloženy v poměru asi 50%:50%. [15]

d) zapojení „čtyři-dvě“ (HT)

Jeden okruh působí na obě nápravy, takže jak na přední a zadní nápravu, ale druhý okruh působí jen na přední nápravu. Je možné ho používat pouze u vozidel se čtyř pístovými kotoučovými brzdami, které jsou osazeny na přední nápravě. [15]

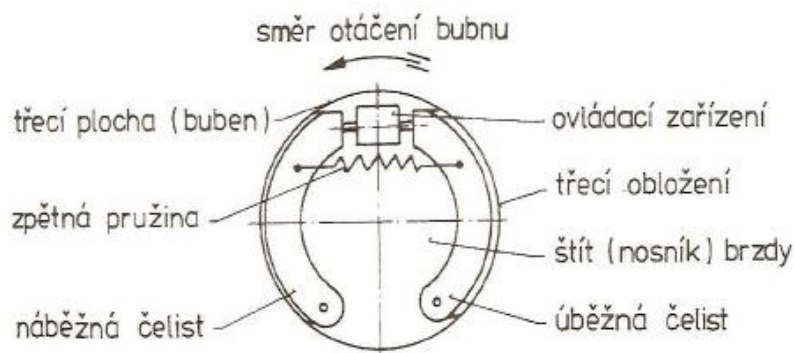
e) zapojení „čtyři-čtyři“ (HH)

Zapojení typu „čtyři-čtyři“ je z hlediska bezpečnosti nejlepší, ale jeho nevýhoda je vysoká ekonomická náročnost. Lze ho použít pouze u čtyř pístových kotoučových brzd, které jsou osazeny na všech čtyřech kolech. Při tomto zapojení každý z obou okruhů působí na jeden pár pístů kotoučových brzd na každé nápravě. [15]

2.2.4 Konstrukce brzd

Bubnové brzdy

Otáčející se částí na této brzdě je buben. Jeho vnitřní válcový povrch je tvořen třecí plochu, na kterou jsou při brzdění přitlačovány brzdové čelisti s třecím obložením, které jsou umístěny ve vnitřním prostoru bubnu. [4]



Obr. 7 Schéma bubnové brzdy. [4]

Podle smyslu momentu obvodové třecí síly vzhledem k uložení rozlišujeme čelisti:

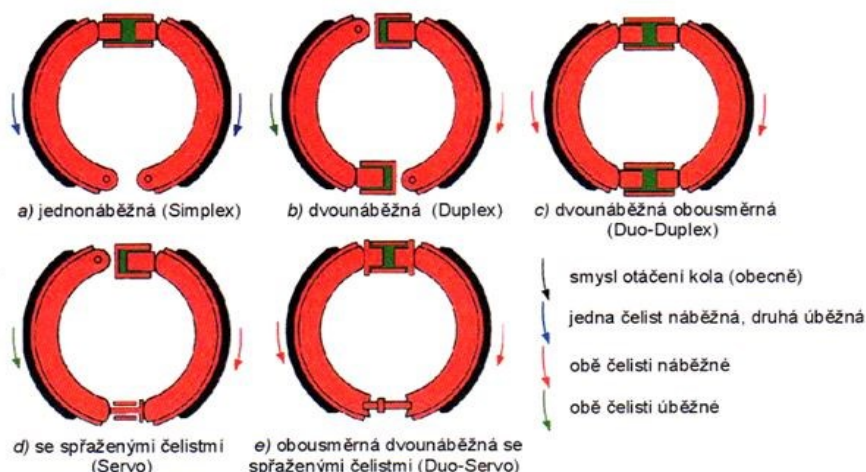
- náběžnou, u které moment třecí síly zvyšuje její přitlak na třecí plochu bubnu
- úběžnou, u které tento moment zmenšuje její přitlak na třecí plochu.

Zpětný pohyb čelistí do základní polohy v odbrzděném stavu zabezpečují vratné pružiny. Čelisti brzdy s ovládacím zařízením jsou uloženy na štítu brzdy a tento celek tvoří její pevnou část. [4]

Podle způsobu uložení a ovládání čelistí, můžeme rozdělit bubnové brzdy na pět základních typů:

- **Jednoduchá bubnová brzda (obr. 8a)** – simplex – je tvořena jednou náběžnou a jednou úběžnou čelisti. Hydraulickým tlakem v brzdovém válci kola, jsou obě brzdové čelisti přitlačovány určitým tlakem na stěny brzdového bubnu. [15]
- **Dvoj náběžná brzda (obr. 8b)** - duplex - tato brzda má při jízdě vpřed obě čelisti náběžné, a proto je možné dosáhnout a využít velice dobrého samočinného zesilovacího účinku, který je 1,5 - krát větší než u stejně velkého konstrukčního typu jednoduché brzdy. Je nutné, aby na jednu čelist působil jednostranně brzdový válec. Tento válec jednu čelist přitlačuje a pro druhou čelist slouží jako opěra. Jestliže dojde k opačnému směru otáčení, tak se náhle každá čelist stane úběžnou. [15]

- **Dvoj náběžná obousměrná brzda (obr. 8c)** - duo-duplex – brzda má podobnou konstrukci jako dvoj náběžná brzda, s tím rozdílem, že je osazena dvěma obousměrně působícími brzdovými válci kola, takže samočinného posíleného brzdného účinku jsme schopni dosáhnout při jízdě jak dopředu tak dozadu. [15]
- **Brzda se spřaženými čelistmi (obr. 8d)** – servobrzda – má jeden primární ovládací prvek pro jednu čelist a druhou sekundární čelist, která je na základě rozpěrného čepu spojena s primární čelistí. Z toho plyne, že při jízdě dopředu plní funkci náběžné brzdy a při jízdě dozadu funkci úběžné brzdy. [15]
- **Brzda se spřaženými čelistmi obousměrná (obr. 8e)** - duo-servobrzda - má jeden primární ovládací prvek pro jednu čelist a druhou sekundární čelist, která je na základě rozpěrného čepu spojena s primární čelistí. Z toho plyne, že při jízdě dopředu plní funkci náběžné brzdy a při jízdě dozadu funkci úběžné brzdy. [15]



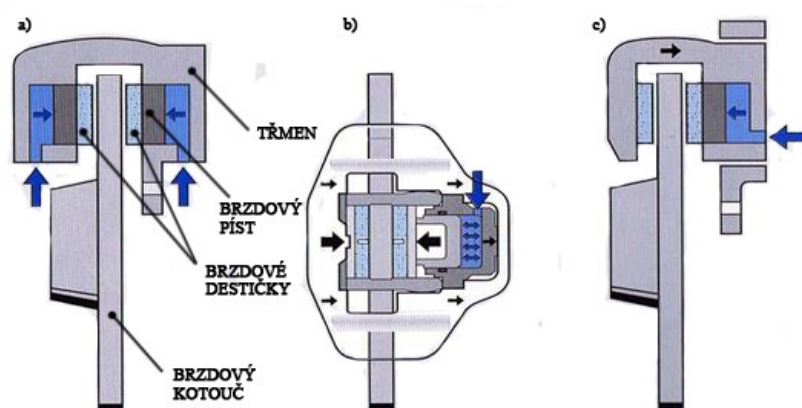
Obr. 8 Rozdělení bubnových brzd [15]

Kotoučové brzdy

Kotoučová brzda se skládá z několika dílů, a sice brzdového kotouče, brzdového třmenu s hydraulickými válečky a výměnných brzdných destiček. Dále je nutné mít takový mechanismus, který nedovolí, aby brzdná destička vypadla ze třmenu. Brzdícího účinku je dosaženo, když brzdové destičky se třou o brzdový kotouč, který je pevně spojen s nábojem kola a společně s kolem se také otáčí. Kotouč se chladí proudem vzduchu za

jízdy vozidla, a brzda je si tak schopna zachovat stále dobrý brzdící účinek. Brzdový třmen je nepohyblivý díl, proto je upevněn na neotáčejících se částech vozidla. Kotoučová brzda je konstruována jako provozní brzda s hydraulickým ovládáním, jedině kdyby byla vybavena mechanickým rozpínáním, tak ji lze použít jako parkovací brzdu. Kotoučové brzdy jsou konstruovány v různých provedeních, jak můžeme vidět na obr. 9. [15]

- **Kotoučová brzda s pevným třmenem (Obr. 9a)** – Na základě hydraulického tlaku od hlavního brzdového válce působí na brzdu s pevným třmenem, kde se vytváří přitlačná síla, která působí na brzdové obložení. Na pevném třmenu jsou uchycena brzdová obložení, dále zadržuje brzdné síly a samovolně vymezuje vůli. [15]
- **Kotoučová brzda s plovoucím rámem (Obr. 9b)** – Základem je pevný držák, který je nositelem pohyblivého (plovoucího) rámu. Písty slouží k tomu, aby přitlačovaly vnitřní obložení k brzdovému kotouči, přičemž dojde k posunutí tělesa s brzdovým válcem plovoucího rámu, a takovým principem dochází k nepřímému potlačení vnějšího brzdového obložení k brzdovému kotouči. [15]
- **Kotoučová brzda s plovoucím třmenem (Obr. 9c)** – Brzda s plovoucím třmenem je pokročilým vývojovým stupněm brzdy s pohyblivým rámem. V pohybujícím se tělese, píst tlačí vnitřní brzdové obložení na kotouč, a tím vyvolá sílu, která posouvá těleso a zároveň tlačí vnější brzdové obložení k brzdovému kotouči. [15]



Obr. 9 Provedení kotoučových brzd, a) Brzda s pevným třmenem (pohled zepředu), b) Brzda s plovoucím rámem (pohled shora), c) Brzda s plovoucím třmenem (pohled zepředu). [15]

Hlavní brzdový válec

Úkolem hlavního brzdového válce, je vytvářet v každém brzdovém okruhu požadovaný tlak. Dále také zabezpečuje snížení tlaku v systému při uvolnění ovládacího členu brzdy. Nejpoužívanějším konstrukčním provedením je tandemové uspořádání. Je to uspořádání, kdy jsou v tělese válce za sebou umístěny dva oddělené písty (dvouokruhový systém). Hlavní brzdový válec je možné ovládat přímo vyvíjeným tlakem na ovládací člen brzdy nebo také nepřímě. To znamená, že když mezi ovládacím členem a hlavním brzdovým válcem je umístěn posilovač, který musí být konstruován tak, aby při jeho poruše zůstala brzdová soustava v činnosti a ovládací síla na brzdový pedál nepřesáhla 800N. [3]

Brzdové médium

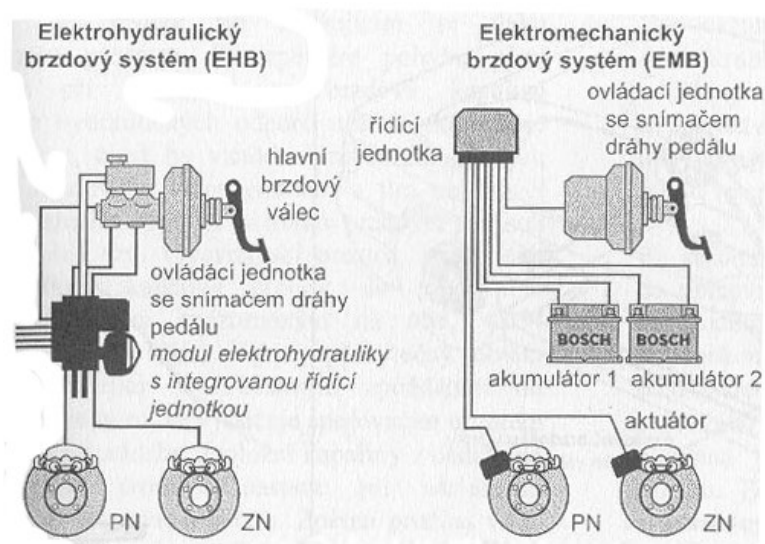
Brzdové médium se určuje podle typu brzdy, které se na vozidle nachází. Jestliže budeme hovořit o nákladních automobilech, kde se obvykle využívá nepřímocínného přenosu síly, tak jako brzdové médium slouží stlačený vzduch. U brzd s přímocínným mechanickým přenosem síly je brzdovým médiem pevná látka, jako jsou lanka nebo tyč. U brzd přímocínných s hydraulickým přenosem síly, se jako brzdové médium využívá brzdové kapaliny. [3]

Nároky na brzdovou kapalinu a na její vlastnosti jsou veliké. K zajištění naprosto spolehlivé funkce brzdové soustavy, za všech teplotních podmínek vyskytujících se v provozu, je důležitým předpokladem, aby nedošlo ke změně složení a hustoty kapaliny v rozmezí teplot -50 až $+200^{\circ}\text{C}$. Během obvyklého provozního brzdění, se z brzdových částí uskuteční přenos tepla do brzdové kapaliny. Teplota kapaliny dosahuje hodnot 100°C až 130°C . Složení kapaliny se nesmí nikdy a za žádných podmínek změnit. Jestliže dojde k náhlé změně tlaku a teploty, tak brzdová kapalina nesmí v žádném případě pění. Všechny výrobní složky brzdové kapaliny, musejí být navzájem smísitelné, a při dosažení mezních teplot se nemůžou složky oddělit. Další důležitou vlastností kapalin je, že nesmějí mít korozivní účinky na kovové součásti a ani žádné další negativní vlivy na pryžového díly. Kapalina musí také obsahovat určité složky, které jsou schopny splnit funkci mazacích vlastností. V rámci bezpečnostních důvodů, je rovněž požadován vysoký bod vzplanutí. Veškeré výše uvedené vlastnosti si kapalina musí být schopna uchovat co nejdelší dobu, ale jednou za dva roky se doporučuje její výměna, protože po uplynutí této doby, již nejsou zaručeny její dobré vlastnosti. V dnešní době se hlavně používají brzdové

kapaliny glykolové, kde se jedná o směsi éterů, polyglykolů a různých inhibitorů. Veškeré nároky na brzdovou kapalinu jsou obsaženy v mezinárodních normách (např. DOT 3, DOT 4, DOT 5, SAE J 1703, ISO 4925, FMVSS 116, apod.). Tyto normy respektují všechny státy, které se výrobou brzdové kapaliny zabývají. [13]

2.2.5 Elektronické brzdové systémy

Hlavním úkolem brzdových soustav osobních automobilů, je přenášet hydraulickým způsobem impulzy od brzdového pedálu řidiče k brzdám na základě brzdové kapaliny. Do určitého okamžiku je brzdná síla o tolik větší, o kolik větší síla působí na ovládací člen brzdy. Systém brzdy, který je nazýván „Brake by Wire“ neboli „brzdění po drátě“ obsahuje dva odlišné brzdové systémy elektrohydraulický (EHB) a elektromechanický (EMB).



Obr. 10 Rozdělení bubnových brzd. [12]

Elektrohydraulický brzdový systém (EHB)

Tento systém zachovává hydraulické brzdy kol, které však nejsou přímo při standardním režimu provozu hydraulicko-mechanicky propojeny s brzdovým pedálem, ale řídicí jednotka zjišťuje sílu působící na brzdový pedál, což znamená pokyn řidiče k brzdění, a pro každé jednotlivé kolo vypočítá potřebný brzdný tlak. Do tohoto výpočtu jsou zahrnuty charakteristické údaje o chování vozidla, o prokluzu a o jízdních veličinách. [12]

Elektromechanicky brzdový systém (EMB)

U systému EMB úplně odpadá celý hydro-pneumatický okruh a impulzy z pohybu brzdového pedálu jsou elektrickým okruhem přenášeny přímo do výkonové jednotky na každém kole tzv. aktuátor. Elektromotory, které jsou vestavěné do kol, vyvíjejí brzdou sílu přímo tam, kde je to nutné. Jako zdroj energie potřebný k činnosti brzd je palubní síť vozidla, pro její přenos se využívají signálové a výkonové vodiče. Nejčtenějším problémem systému EMB je, že na rozdíl od EHB zde není možnost hydraulického přenosu sil při případném výpadku systému a z tohoto důvodu jsou vyžadovány dva nezávislé elektronické brzdové okruhy. [12]

2.2.6 ABS (Anti-lock Brake system)

Systém ABS je tzv. protiblokovací systém, který se dnes řadí mezi základní prvky aktivní bezpečnosti. Systém ABS zabraňuje tomu, aby se kolo při brzdění nezablokovalo a vozidlo se nestalo neovladatelným. Kola, která jsou vybavena tímto systémem, se stále odvalují, a proto nedojde ke ztrátě adheze mezi kolem a vozovkou. Jestliže se kola odvalují, tak dochází ke stálé stabilitě a ovladatelnosti vozidla. Řiditelnost vozidla je i v mezích situací stále kvalitní, jako například při prudkém brzdění mokré nebo zmrzlé vozovce. [11]

Jestliže pojedeme s vozidlem, které není vybaveno systémem ABS, a zabrzdíme na suché vozovce, tak dosáhneme kratší brzdné dráhy než vozidlo brzdící s aktivním systémem ABS. Funkci ABS oceníme teprve tehdy, když budeme nuceni v kritické situaci zabrzdít na vlhké nebo zledovatělé vozovce. V této chvíli se rozdíly velikosti brzdné dráhy vyrovnávají, a na zledovatělém povrchu dosahuje vozidlo s ABS mnohem kratší brzdné dráhy než vozidlo bez ABS. V každém případě, ať už se jedná o jakýkoliv typ povrchu, tak velkou výhodou ABS je to, že nám při brzdění zaručuje mnohem lepší řiditelnost a ovladatelnost vozidla, než vozidlo bez ABS. [11]

V roce 2004 spolek ACEA stanovil, že systémem ABS musí být v EU vybavené každé nové homologované vozidlo, a od roku 2006 se toto nařízení začalo týkat také všech dříve homologovaných vozidel. [11]

Hlavní části ABS

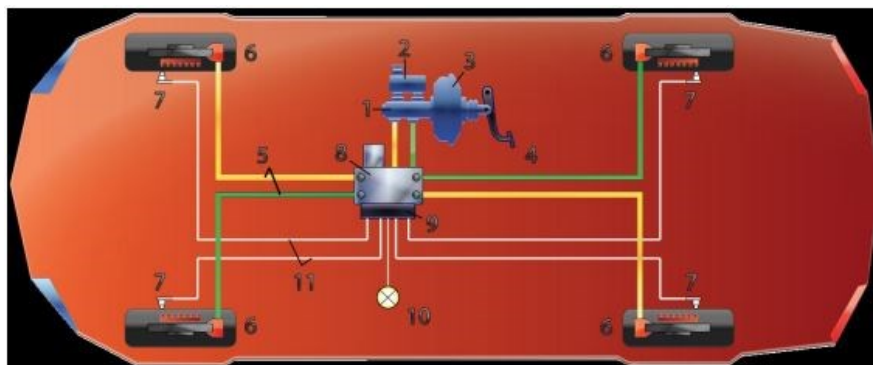
Systém ABS je nadstavbově připevněn k běžným komponentům brzdové soustavy.

Běžné komponenty soustavy jsou:

- 1) hlavní brzdový válec,
- 2) vyrovnávací nádržka,
- 3) posilovač brzd,
- 4) brzdový pedál,
- 5) brzdová potrubí a brzdové hadice,
- 6) brzdy kol s brzdovými válečky kol.

Nadstavbové komponenty ABS:

- 7) snímače otáček kol,
- 8) hydraulická jednotka,
- 9) řídicí jednotka ABS,
- 10) kontrolka ABS na palubní desce,
- 11) elektrické vedení.



Obr. 12 Brzdová soustava vozidla se systémem ABS. [2]

Nejdůležitější vstupní veličinou pro řízení brzd se systémem ABS jsou otáčky kol. Snímače kol mají funkci takovou, že zjišťují obvodové rychlosti kol, a následně předají potřebné elektrické signály řídicí jednotce. Z těchto signálů můžeme zjistit skluz mezi kolem a vozovkou, a na základě toho určit kdy mají být jednotlivá kola blokována. Pro osobní vozidla se nejčastěji používají dva až čtyři snímače. [2]

Řídicí jednotka vyhodnocuje přijaté informace od snímačů kol. Na základě určitých matematických postupů data zpracuje a výsledkem těchto dat jsou řídicí signály, kterými se hydraulická jednotka řídí. [2]

Hydraulická jednotka obsahuje integrované elektromagnetické ventily. Tyto ventily otevírají nebo uzavírají hydraulické vedení mezi hlavním brzdovým válcem a jednotlivými brzdovými válečky kol. [2]

Princip činnosti ABS

Díky tomuto systému nedojde k úplnému zablokování kol při brzdění, protože systém samovolně redukuje brzdnou sílu v třmenech tak, aby právě k zablokování kol nedošlo. Jestliže se kola zablokují, tak dojde ke ztrátě adheze mezi pneumatikou a vozovkou a vozidlo se stane neovladatelným, a tím by došlo k celkovému ohrožení silničního provozu. Každé kolo je snímáno vlastním snímačem otáček a snímače předávají řídicí jednotce potřebné informace o rychlostech, kterými se jednotlivá kola otáčejí. Jestliže je kolo blokováno, tak řídicí jednotka o tomto blokování přijme signály, a krátkodobě sníží tlak v brzdovém systému, a díky tomu se začne kolo znovu pohybovat. ABS je schopno uvolnit kolo 12 až 16 krát za sekundu, čímž tento systém zajistí stále otáčení kola. Když prudce zabrzdíme, tak systém ABS udržuje brzdnou sílu na mezi adheze, a tím je kolo zablokováno a následně uvolněno v takovém rychlostním sledu, až dojde k zastavení vozidla. [1], [11]

Požadavky na systém ABS

- Stabilita a ovladatelnost vozidla musí být regulací brzd zajištěna na veškerém typu povrchu (od suché vozovky až po zledovatělou).
- Je nutné, aby tento systém při provozním brzdění co nejvíce využíval součinitel adheze, a následně na něj vhodně reagoval a přizpůsobil se.
- Jestliže začneme brzdit v zatáčce, tak musíme být stále schopni dosáhnout co nejlepší ovladatelnosti a stability vozidla, a v neposlední řadě také co nejkratší brzdné dráhy.
- Regulace brzd musí být schopna rozpoznat aquaplaning a příslušně na něj reagovat tak, aby došlo k zachování stability vozidla a udržení přímého směru jízdy.
- Systém ABS musí spolehlivě pracovat až do maximální dosažené rychlosti daného vozidla.
- Na možnou poruchu systému ABS musíme být upozorněni příslušnou kontrolku. [1]

2.3 Měřicí zařízení Performance Box

Měřicí zařízení Performance Box od firmy Racelogic, je výborný přístroj, který slouží pro získání přesných výkonových a brzdných parametrů, ale má také další užitečné funkce, jako je například zobrazení maximální a průměrné rychlosti v rozděleném načasování,

zobrazující se přímo na displeji v reálném čase. Velkou oblíbenost a využití v něm našli výrobci automobilů, výrobci pneumatik, různé testovací společnosti, redaktoři časopisů, ale také běžní uživatelé, kteří chtějí zjistit parametry svého automobilu. Možnost využití není nijak omezena, ale nejčastěji se používá pro měření parametrů sportovních a osobních automobilů. [9]

Popis zařízení

VBOX je měřicí zařízení, které obsahuje vestavěnou GPS anténu a 10 Hz GPS přijímač, na základě kterého se přijímají signály z jednotlivých družic, které jsou v danou chvíli nad obzorem. Po zapnutí přístroje a přijetí GPS signálu, se od této doby záznamu jí všechny data související s pohybem vozidla. Vytvořená data, které se zobrazují na LCD displeji, jsme schopni při měření v reálném čase vidět a zároveň se zapisují na paměťovou kartu, kterou je možné po ukončení měření vyjmout. Naměřená data se přepíší z paměťové karty do paměti stolního počítače nebo notebooku. Data se zpracovávají v originálním příbalovém počítačovém nástroji Performance Box Tools, který umožňuje přesné vykreslení a vyhodnocení dat. Bližší specifikace přístroje jsem uvedl do tabulky.

Tab. 4 Bližší specifikace měřicího zařízení Performance Box. [9]

Rychlost		Vzdálenost		Akcelerace	
Přesnost	0.2 km/h	Přesnost	0.05%	Přesnost	1%
Jednotky	km/h; mph	Jednotky	metr/stopa	Maximum	4 G
Max. rychlost	1000 mph	Výšková přes.	10 m	Obno. Frek.	10 Hz
Min. rychlost	0.1 km/h	Obno. frek.	10 Hz	Resolution	0.01 G
Resolution	0.01 km/h	Resolution	1 cm	-	-
Absolutní poloha		Čas		Heading	
Přesnost	5 m	Přesnost	0.1 s	Přesnost	0.2°
Obno. frek.	10 Hz	Resolution	0.1 s	Resolution	0.01°
Resolution	1 cm	-	-	-	-
Napětí		Rozměry a teploty			
Rozsah vstupního napětí		6 – 28 V DC	Hmotnost	225 g	
Proud		běžně 100 mA	Velikost	113 mm x 63 mm x 93 mm	
-		-	Provozní tep.	-20°C až +50°C	

Základní funkce

Měřicí zařízení Performance Box lze nastavit na 6 různých měřicích režimu, které obsahují další funkce, pomocí kterých naměříme naše požadované hodnoty. Pro moji bakalářskou práci a měření, jsem si vystačil s jedním režimem, pojmenovaným z originální

příručky Performance mode (režim výkonu). V režimu výkonu jsem provedl celé měření, proto s ostatními režimy nemám bohužel žádnou další zkušenost, takže je zde nebudu ani detailněji rozvádět.

Výkonnostní režim se používá hlavně pro měření zrychlení vozidla, brzdného zpomalení, brzdné dráhy a brzdné doby vozidla. Tento režim nabízí několik funkcí, ale pro mé měření je nejdůležitější funkce deceleration, neboli decelerace (zpomalování). Po aktivaci této funkce v přístroji Performance Box je důležité nastavit rychlost, na kterou chceme být upozorněni zvukovým signálem. Zvukový signál nás informuje o tom, že jsme dosáhli požadované rychlosti a nastává doba, kdy začínáme brzdit až do úplného zastavení vozidla. Po úplném zastavení nám přístroj zapíše požadované data na paměťovou kartu a my jsme schopni si je zobrazit a udělat rozbor požadovaných dat.



Obr. 13 Performance Box s veškerým příslušenstvím. [9]

3 Návrh experimentálního ověření

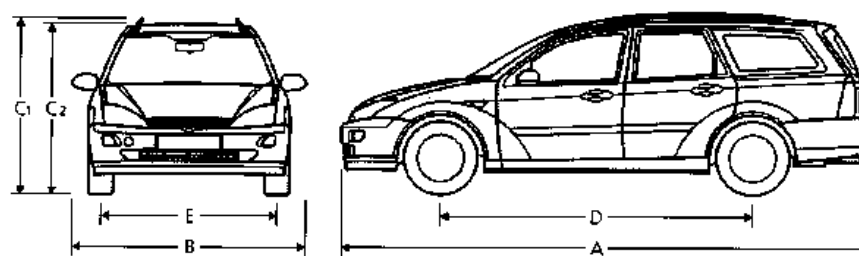
Cílem mé práce, bylo změřit a porovnat brzdné dráhy vybraného osobního automobilu při prudkém brzdění. Měření probíhalo při několika rychlostech, na letní sadě pneumatik a následně také na zimní sadě pneumatik. Z důvodu lepšího porovnání a vyhodnocení výsledků, jsem veškeré měření provedl se zapnutým a poté s vypnutým systémem ABS. Pro svůj experiment jsem využil osobní automobil Ford Focus 1.8 TDDI, který splňoval veškeré moje požadavky pro toto měření.

3.1 Charakteristika testovaného vozidla

Pro tento experiment jsem jako testované vozidlo vybral Ford Focus. Vozidlo bylo vyrobené v roce 2001 v Německém městě Kolín nad Rýnem. Jedná se o osobní automobil kategorie M1 typu kombi, jehož aktuální stav tachometru při měření byl 148 576 [km]. Vozidlo je vybavené dieselovým motorem o zdvihovém objemu 1753 [cm³], s maximálním výkonem 66 [kW] a s maximálním krouticím momentem 200 [Nm]. Řazení rychlostních stupňů probíhá prostřednictvím pěti stupňové manuální převodovky. V dubnu roku 2015 vozidlo prošlo povinnou technickou prohlídkou, kde nebyly na brzdové soustavě zjištěny žádné závady.

Vozidlo je vybavené dvouokruhovou hydraulickou provozní brzdou a její brzdná účinnost je zesílená posilovačem brzd. Brzdový okruh je diagonálně uspořádaný. Náplň brzdové soustavy obsahuje brzdovou kapalinu DOT4. Přední náprava je hnací a obsahuje jedno pístové hydraulické kotoučové brzdy s plovoucím rámem. Brzdové kotouče značky FEBI jsou vnitřně chlazené a jejich tloušťka činí 22 [mm], vnější průměr je 258 [mm]. Zadní hnaná náprava je tvořena jedno náběžnými (simplexovými) bubnovými brzdami značky FEBI. Bubnové brzdy jsou na vozidle důležité nejen z důvodu provozního brzdění, ale také jsou ovládaný parkovací brzdou, pomocí ruční páky vedle sedadla řidiče a ocelových lanek, které jsou z bubnu vyvedeny. Brzdová soustava je vybavena systémem ABS.

Při měření jsem použil dvě sady pneumatik. První sadou jsou letní pneumatiky Barum Brillantis 2 o rozměrech 195/60 R15 88H, které jsou nasazené na litých kolech. Jako druhou sadu pneumatik jsem použil pneumatiky vyrobené ze zimní směsi. Z důvodu objektivní srovnání konečných výsledků jsem zvolil stejného výrobce a stejnou velikost pneumatik Barum Polaris 3 o rozměrech 195/60 R15 88H, které jsou nasazené na plechových diskách.



Obr. 14 Schéma vozidla Ford Focus Mk1 [10]

Do tab. 5 jsem uvedl detailní rozměry karoserie vozidla a hmotnosti vozidla. V tabulce najdeme rozměry související s obr. 14.

Tab. 5 Blíže specifikace měřeného vozidla. [10]

Hmotnost vozidla	kg
Pohotovostní hmotnost	1307 - 1390
Celková přípustná hmotnost	1755 - 1805
Rozměry	mm
A = Maximální délka	4438 - 4465
B = Celková šířka	1998
C1 = Celková výška	1502 - 1557
C2 = Celková výška	1461 - 1516
D = Rozvor náprav	2615
E = Rozchod kol	Přední: 1484 - 1502
	Zadní: 1477 - 1495

3.2 Dynamické zatížení náprav testovaného vozidla

V předchozí kapitole jsem charakterizoval testované vozidlo, a proto je vhodné si na základě údajů o testovaném vozidle a teorie brzdění vypočítat dynamické zatížení náprav. Pro zjednodušení výpočtu dynamického zatěžování náprav, budeme myslet jen s odporem setrvačnosti a brzdou silou, ostatní odpory momentálně zanedbáme. Na vozidlo při jeho brzdění působí statické síly ve směru osy z a také setrvačná síla, která je dána brzdným zpomalením. Veškerou teorii a vzorce, ze kterých budeme v těchto výpočtech vycházet, jsem již zpracoval v teoretické části v kap. 2.1.3 o teorii brzdění. Základní parametry a další veličiny potřebné k výpočtu dynamického zatížení náprav jsem vyhledal v předchozích kapitolách.

Z rovnováhy momentů, viz. vzorec (14) a (15), které jsou uvedený v kap. 2.1.3 o teorii brzdění, je možné stanovit statické zatížení přední nápravy k místu dotyku zadní nápravy s vozovkou. Následně je taktéž možné stanovit statické zatížení zadní nápravy, k místu dotyku přední nápravy s vozovkou.

Tab. 6 Jednotlivé výsledky zatížení pro dané podmínky s aktivním systémem ABS

Zatížení náprav při měření s aktivním systémem ABS			
Pneumatiky	Rychlost	Zatížení přední nápravy	Zatížení zadní nápravy
	[km/h]	[N]	[N]
Letní	50	10796,93	2655,41
	70	11120,10	2332,24
	90	11097,20	2355,14
Zimní	50	10732,92	2719,42
	70	11042,60	2409,74
	90	11006,83	2445,51

Tab. 7 Jednotlivé výsledky zatížení pro dané podmínky s odpojeným systémem ABS

Zatížení náprav při měření s odpojeným systémem ABS			
Pneumatiky	Rychlost	Zatížení přední nápravy	Zatížení zadní nápravy
	[km/h]	[N]	[N]
Letní	50	10956,63	2495,71
	70	11324,99	2127,35
	90	11239,96	2212,38
Zimní	50	10928,39	2523,95
	70	11282,00	2170,34
	90	11185,99	2266,35

3.3 Charakteristika podmínek měření

Vhodný výběr lokality a stanovení podmínek pro tento experiment byl docela obtížný. Předem stanovené podmínky pro výběr lokality byly takové, že by se měření muselo uskutečnit nejlépe na rovné, alespoň 300 m dlouhé volné ploše, kde není žádný dopravní provoz, protože jinak by mohlo dojít k bezprostřednímu ohrožení silničního provozu. Těmto podmínkám odpovídalo v nejbližším okolí staré bývalé letiště v Mošnově. Po předchozí domluvě se správcem letiště, jsme zde mohli naše měření uskutečnit, protože podmínky na tomto letišti byly ještě mnohem lepší než ty předem uvažované. K dispozici jsme měli více jak 50 000 [m²] volné rovné plochy. Plocha byla tvořena velkými panely, které byly položeny vedle sebe, tudíž pro všechny výpočty počítám se součinitelem adheze pro suchý beton.

Měření proběhlo 2. května v dopoledních hodinách, kdy panoval slunečný den, po celou dobu bez deště, takže měření brzdné dráhy probíhalo na rozehrátém suchém betonu. Teplota vzduchu na slunci byla 29,5 [°C], dále foukal mírný vítr, který ovšem neměl žádné velké vlivy na měření.

Při samotném měření jsem se rozjel na požadovanou rychlost, kterou jsem také nastavil do přístroje Performance Box. Při dosažení požadované rychlosti mě přístroj zvukovým signálem upozornil, že jedu danou rychlostí a já jako řidič jsem maximální silou sešlápl brzdový pedál, tak aby došlo k zablokování kol. V tomto měření jsem zanedbal reakční dobu řidiče, protože jsem měřil na volné ploše, kdy jsem dobu sešlápnutí brzdového pedálu očekával. Stejně jako reakční dobu jsem ve výpočtech a v tomto měření zanedbal dobu náběhu brzdy, protože její hodnota v zásadě neovlivní výsledky měření.

3.4 Popis a metodika měření

Jak už jsem charakterizoval v podmínkách měření, tak experiment probíhal na volném letištním areálu. Po příjezdu do vybrané lokality jsem vyložil veškeré nepotřebné věci z vozidla, aby při prudkém brzdění nedošlo k nežádoucímu pohybu předmětu ve vozidle.

Při samotném měření vozidlo bylo prázdné, jen na předních sedadlech jsem seděl já jako řidič a spolujezdec, který detailněji sledoval a zapisoval průběh měření.

Rozhod jsem se, že první měření proběhnou na letní sadě pneumatik s aktivním systémem ABS. Pneumatiky jsem před experimentem, tedy za studena nafoukal na požadované hodnoty uváděné výrobcem (při zatížení do 3 osob na 2,2 bar). Následně jsem podle originálního návodu do vozidla nainstaloval, přístroj Performance Box, který je jedním z nejdůležitějších komponentem experimentu, protože nám bude zaznamenávat průběh měření. Když bylo vše připraveno, tak jsem krátkou projíždkou po areálu zahřál vozidlo a pneumatiky na provozní teplotu. Poté jsem musel zapnout a nastavit přístroj Performance box, ve kterém jsem si zvolil, že chci zvukové upozornění při dosažené rychlosti 50 [km/h], protože z této rychlosti budu jako první měřit brzdovou dráhu.

Po zahřátí a nainstalování jsem vozidlo zastavil na nulovou rychlost, ze které jsem se začal rozjíždět na zvolenou rychlost. V okamžiku dosažení požadované rychlosti mě přístroj upozornil, sešlápl jsem spojkový pedál, čímž došlo k odpojení motoru a vzápětí přišlo na řadu prudké brzdění. Prudkého brzdění jsem dosáhl sešlápnutím brzdového pedálu maximální silou tak, aby došlo k zablokování kol a aktivaci systému ABS. Maximální sílu, kterou jsem vyvíjel na brzdový pedál, byla po celou dobu brzdění nepřerušovaná a snažil jsem se, aby byla co nejvíce konstantní. Když se vozidlo zastavilo na nulové rychlosti, tak jsem několik sekund počkal, až mi přístroj data zapíše na paměťovou kartu a měření jsem za stejných podmínek opakoval ještě celkem 10 krát. Po deseti opakováních bylo nutné, abych udělal několik minut pauzu, z důvodu vysoké teploty brzd a pneumatik. Po ustálení na běžnou provozní teplotu, kterou jsem si průběžně ověřoval laserovým dálkovým teploměrem, jsem provedl naprosto analogické měření jen tentokrát pro rychlosti 70 [km/h] a 90 [km/h].

Nyní se nacházím ve fázi, kdy jsem odměřil brzdné vzdálenosti na letní sadě pneumatik s aktivním systémem ABS při rychlostech 50, 70, 90 [km/h]. Následuje odpojení systému ABS, což prakticky znamená vytáhnout příslušnou pojistku z pojistkové skříně a nyní máme systém ABS neaktivní. Nic už nám nebrání v tom, abychom opět naprosto analogickým principem změřili brzdné dráhy pro všechny tři rychlosti.

Když odměříme všechny tři rychlosti bez ABS, tak jsem splnil veškeré stanovené podmínky pro měření s letní sadou pneumatik. Vozidlo odstavím a vhodně si ho zajistím, protože následuje přehození zimní sady pneumatik namísto letní sady. Jakmile mám na vozidle zimní sadu pneumatik, tak opět nafoukám pneumatiky na správný tlak doporučený výrobcem (při zatížení do 3 osob na 2,2 bar). Jelikož mám odpojený systém ABS, tak prvně si opět stále stejným postupe odměřím všechny tři rychlosti, tentokrát již na zimní sadě pneumatik. Následuje poslední fáze měření, a sice znovu zapojím pojistku do pojistkové skříně, čímž aktivuji systém ABS a naposledy stejným postupem odměřím brzdné dráhy.

Nyní nám už nezbývá nic jiného, než si naměřená data z paměťové karty, kterou vyjmu z přístroje, vložím do svého stolního počítače nebo notebooku. V příslušném programu vyhodnotím naměřená data, vypracuji formou tabulek a porovnáám.

3.5 Počáteční předpoklad měření

Jedním z prvních počátečních předpokladů je výpočet teoretické brzdné dráhy. Výpočet předpokládané brzdné dráhy získáme z empirického vzorce, ve kterém se změna kinetické energie v průběhu zpomalování vozidla rovná vykonané práci v průběhu tohoto zpomalování. Tuto rovnici rozepíšeme, a odvodíme z ní požadovanou předpokládanou brzdnu dráhu, kterou poté porovnáme s aritmetickým průměrem skutečných naměřených drah.

$$S = \frac{v_0^2}{2 \cdot a_b} = \frac{v_0^2}{2 \cdot g \cdot \mu} [m] \quad (20)$$

kde:

$S[m]$ – prvotní předpoklad brzdné dráhy

$v_0[m \cdot s^{-1}]$ – počáteční rychlost vozidla, ze kterého vozidlo začíná brzdit

Dalším předpokladem je porovnání mezi délkou brzdné dráhy se systémem a bez systému ABS. Tento předpoklad je ale prozatím čistě subjektivní, protože ho nelze výpočtetně zjistit. Předpokladem je, že brzdná dráha se systémem ABS na suchém betonu bude delší, protože to tak vyplývá z funkce ABS.

Posledním možný předpokladem je srovnání délky brzdné dráhy na letní sadě a zimní sadě pneumatik v jarním období. Tento předpoklad je ovšem také čistě subjektivní, ale brzdná dráha v jarním období bude na zimní sadě pneumatik delší. Delší bude z toho důvodu, protože zimní pneumatika je vyrobena z jiné směsi než letní, a proto se zimní pneumatika na zahřátém betonu více rozpíná, což vede k prodloužení brzdné dráhy.

Výsledky měření nelze přesně předpokládat. V tab. 8 jsem podle vzorce (20) vypočítal počáteční prvotní předpoklad brzdné dráhy. Tyto brzdné dráhy jsou ovšem opravdu orientační, protože zde vycházíme jen ze základních hodnot, a sice počáteční rychlosti, součinitele adheze pro suchý beton a konstanty tíhového zrychlení. Další faktory, které prodlužují nebo zkracují délku brzdné dráhy, jako brzdění se systémem a bez systému ABS, brzdění na letní nebo zimní sadě pneumatik zde započítat nelze.

Tab. 8 Prvotní předpoklad brzdné dráhy.

Rychlost	Prvotní předpoklad brzdné dráhy (S)
[km/h]	[m]
50	10,524
70	21,412
90	35,895

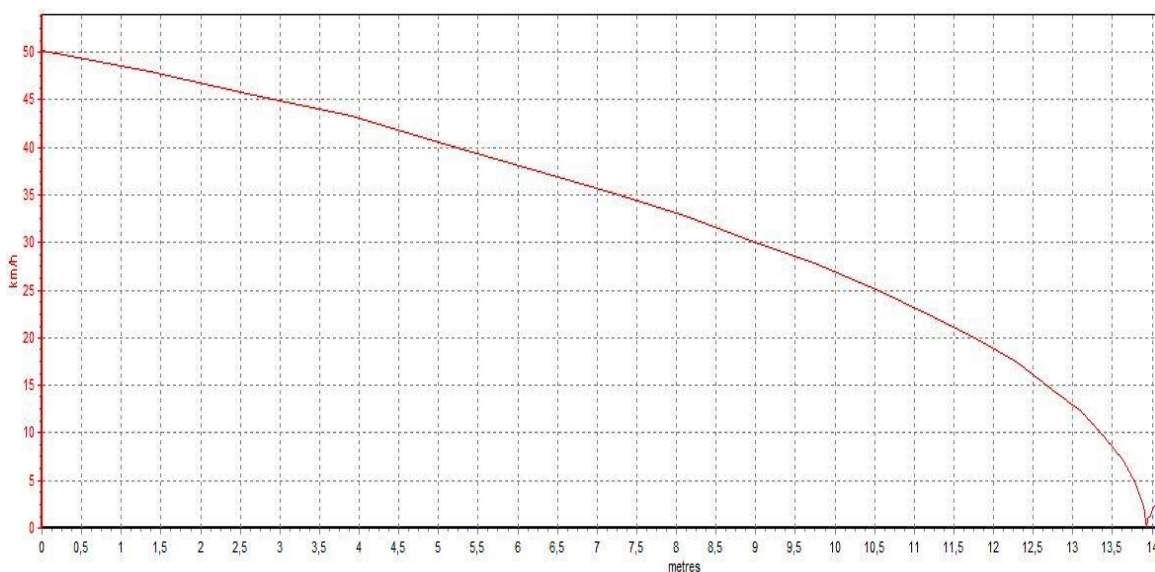
Po zpracování a vyhodnocení skutečných naměřených dat, můžeme zjistit na základě naměřené brzdného zpomalení přesnějších předpokládaných výsledků měření, které jsem opět vypočítal ze vzorce (20) a uvádím je v tab. 9.

Tab. 9 Předpokládané brzdné dráhy na základě vyhodnocených brzdných zpomaleních.

Rychlost	Předpokládaná brzdná dráha (l_p)			
	Letní pneumatiky		Zimní pneumatiky	
	zapojené ABS	odpojené ABS	zapojené ABS	odpojené ABS
[km/h]	[m]	[m]	[m]	[m]
50	13,64	12,72	14,04	12,88
70	23,33	21,59	24,07	21,94
90	38,92	36,83	40,37	37,60

4 Výsledky měření

Následující kapitolu považuji za jednu z nejdůležitějších z celé mojí práce, protože zde vyhodnotím a porovnáám veškerá naměřená data, čímž dojdou k výsledku měření. Naměřená data jsem vyhodnotil v příslušném počítačovém nástroji a následně je postupně vypracoval tabulkovou formou. Pro lepší přehlednost a znázornění všech dat, jsem zpracoval také grafickou podobu výsledku. Z obr. 15 je vidět, jakým způsobem se brzdné dráhy v nástroji vyobrazují.



Obr. 15 Ukázka při vyhodnocování dat z programu Performance Tools.

4.1 Charakteristika naměřených dat

Naměřené hodnoty jsem tedy zpracoval tabulkovou formou. Celkové naměřené a vypočtené hodnoty jsem rozdělil celkem do čtyř základních tabulek, podle toho jestli se jednalo o měření na letních nebo zimních pneumatikách, a jestli jsem měřil bez systému ABS nebo se systémem ABS. V prvním sloupci od levého okraje se nacházejí veškeré rychlosti, ve kterých jsem za daných podmínek měřil. Ve druhém sloupci jsou hodnoty naměřeného brzdného zpomalení, které jsem vyhodnotil z naměřených dat. Ze všech naměřených brzdných zpomalení jsem vypočítal aritmetický průměr. Ze vzorce (20), jsem na základě známého průměrného brzdného zpomalení vypočetl předpokládanou brzdnou dráhu. Tato vypočtená dráha nám slouží jako teoretická brzdná dráha než vypočítáme skutečnou naměřenou brzdnou dráhu, následně nám také bude sloužit jako porovnání

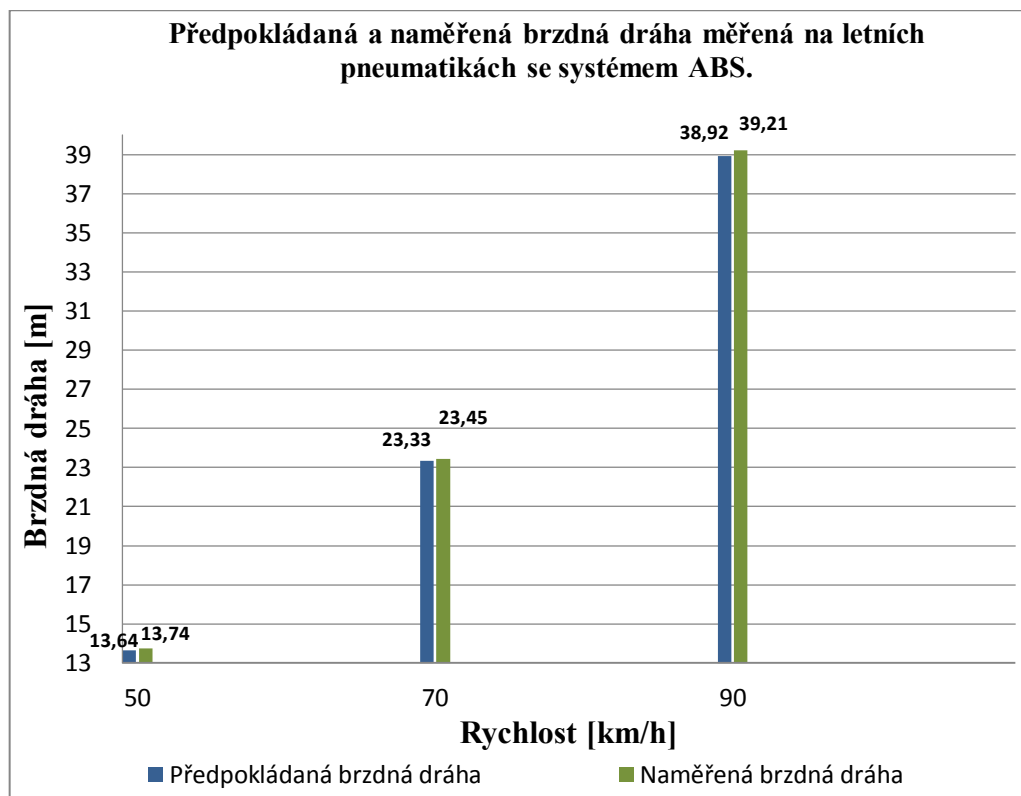
s naměřenou brzdou dráhou. V předposledním sloupci, jsem už přešel k samotnému vyhodnocení dat naměřené brzdě dráhy, ze kterých jsem opět udělal aritmetický průměr, a tím jsem získal skutečnou brzdou dráhu pro dané podmínky. Nakonec jsem výsledky graficky zobrazil a vypočetl jejich směrodatné odchylky podle pravidla tři sigma.

4.2 Letní sada pneumatik

V následujících tab. 10 uvedu výsledné naměřené hodnoty, pro měření za daných podmínek na letní sadě pneumatik s aktivním systémem ABS.

Tab. 10 Brzdě dráhy na letní sadě pneumatiky se systémem ABS.

Letní pneumatiky s ABS						
Rychlost	Naměřené brzdě zpomalení	Průměrné brzdě zpomalení	Předpokládaná brzdě dráha	Naměřená brzdě dráha	Průměrná brzdě dráha	Směrodatná odchylka brzděných drah
[km/h]	[m·s ⁻²]	a_b [m·s ⁻²]	l_p [m]	[m]	l [m]	σ
50	7,26 7,13 6,90 7,15 7,01 6,89 7,17 7,25 6,91 7,05	7,07	13,64	13,37 13,63 14,09 13,59 13,86 14,10 13,55 13,39 14,06 13,77	13,74	0,2646
70	8,13 8,08 8,11 8,13 8,11 8,17 8,06 8,09 8,05 8,09	8,10	23,33	23,37 23,51 23,43 23,36 23,42 23,25 23,58 23,47 23,61 23,48	23,45	0,1016
90	8,04 8,05 7,99 8,06 8,02 8,08 8,03 8,01 8,02 7,99	8,03	38,92	39,15 39,11 39,39 39,07 39,27 38,97 39,19 39,33 39,26 39,40	39,21	0,1342



Obr. 16 Grafické zobrazení naměřených dat pro letní pneumatiky s ABS.

Do tab. 10, jsem vypsál veškerá vyhodnocená naměřená data, které jsou výsledkem tohoto měření za daných podmínek. Pro lepší orientaci a zobrazení výsledku, jsem výsledné brzdné dráhy v závislosti na rychlosti graficky zobrazil v obr. 16.

Z důvodu určení přesnějších hodnot brzdných vzdáleností, jsem podle pravidla tři sigma, za daných podmínek vypočítal do tab. 11 směrodatné odchylky pro všechny naměřené brzdné dráhy z tab. 10. Po tomto výpočtu jsem tedy schopen říct, s jakou pravděpodobností a v jaké minimální až maximální brzdné vzdálenosti bude vozidlo schopné zabrzdit.

Tab. 11 Výpočet směrodatných odchylek podle pravidla tři sigma (pravidlo 3σ).

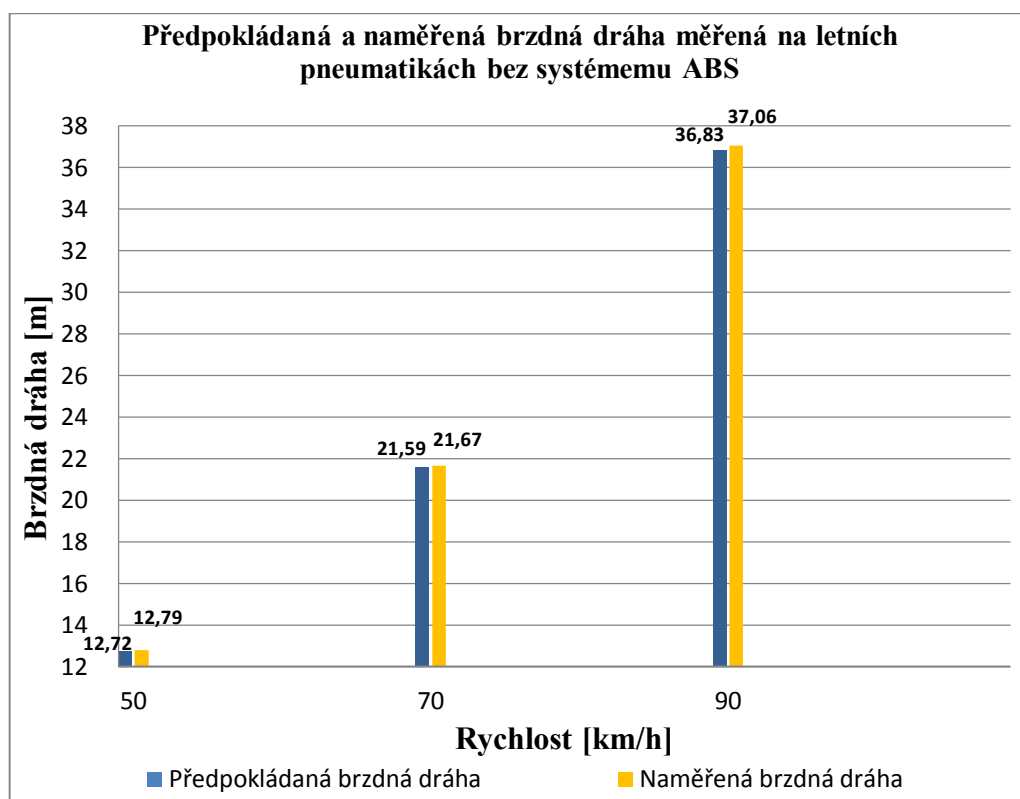
Směrodatné odchylky brzdných drah, měřené na letních pneumatikách se systémem ABS			
Rychlost	$P(l - \sigma < l < l + \sigma)$ = 68,27%	$P(l - 2\sigma < l < l + 2\sigma)$ = 95,45%	$P(l - 3\sigma < l < l + 3\sigma)$ = 99,73%
50	13,48 < 13,74 < 14,00	13,21 < 13,74 < 14,27	12,95 < 13,74 < 14,53
70	23,35 < 23,45 < 23,55	23,25 < 23,45 < 23,65	23,15 < 23,45 < 23,76
90	38,90 < 39,21 < 39,34	38,94 < 39,21 < 39,48	38,81 < 39,21 < 39,61

Z vypočtené tab. 11, mohu tedy konstatovat, že z rychlosti 50 [km/h] za daných podmínek, budu schopen s pravděpodobností 68,27% zastavit v rozmezí brzdné dráhy 13,48 – 14,00 [m], s pravděpodobností 95,45% v rozmezí brzdné dráhy 13,21 – 14,27 [m] a s nejvyšší pravděpodobností 99,73% v rozmezí 12,95 – 14,53 [m]. Z rychlosti 70 [km/h], budu schopen s nejvyšší pravděpodobností 99,73% za daných podmínek zabrzdit na vzdálenosti v rozmezí 23,15 – 23,76 [m]. U rychlosti 90 [km/h], bude velikost brzdné dráhy opět s nejvyšší pravděpodobností 99,73% v rozmezí 38,81 – 39,61 [m].

Ve druhé tab. 12, se nacházejí výsledné hodnoty pro měření na letní sadě pneumatik, ale už s odpojeným systémem ABS.

Tab. 12 Brzdné dráhy na letní sadě pneumatiky bez systému ABS.

Letní pneumatiky bez ABS						
Rychlost	Naměřené brzdné zpomalení	Průměrné brzdné zpomalení	Předpokládaná brzdná dráha	Naměřená brzdná dráha	Průměrná brzdná dráha	Směrodatná odchylka brzdných drah
[km/h]	[m·s ⁻²]	a_b [m·s ⁻²]	l_p [m]	[m]	l [m]	σ
50	7,47 7,65 7,62 7,73 7,65 7,45 7,57 7,43 7,60 7,64	7,58	12,72	12,98 12,68 12,73 12,55 12,67 13,01 12,81 13,06 12,75 12,69	12,79	0,1603
70	8,84 8,75 8,89 8,79 8,69 8,68 8,71 8,67 8,80 8,73	8,76	21,59	21,45 21,67 21,33 21,58 21,82 21,85 21,79 21,88 21,56 21,73	21,67	0,1735
90	8,51 8,46 8,48 8,51 8,50 8,53 8,50 8,47 8,43 8,45	8,48	36,83	36,95 37,14 37,09 36,94 37,00 36,87 36,99 37,13 37,28 37,19	37,06	0,1219



Obr. 17 Grafické zobrazení naměřených dat pro letní pneumatiky bez ABS.

Do tab. 12, jsem vypsál veškerá vyhodnocená naměřená data, které jsou výsledkem tohoto měření za daných podmínek. Pro lepší orientaci a zobrazení výsledku, jsem výsledné brzdné dráhy v závislosti na rychlosti graficky zobrazil v obr. 17.

Tab. 13 Výpočet směrodatných odchylek podle pravidla tři sigma (pravidlo 3σ).

Směrodatné odchylky brzdných drah, měřené na letních pneumatikách bez systému ABS			
Rychlost	$P(l - \sigma < l < l + \sigma)$ = 68,27%	$P(l - 2\sigma < l < l + 2\sigma)$ = 95,45%	$P(l - 3\sigma < l < l + 3\sigma)$ = 99,73%
50	$12,63 < 12,79 < 12,95$	$12,47 < 12,79 < 13,11$	$12,31 < 12,79 < 13,27$
70	$21,49 < 21,67 < 21,84$	$21,32 < 21,67 < 22,01$	$21,15 < 21,67 < 22,19$
90	$36,94 < 37,06 < 37,18$	$36,81 < 37,06 < 37,30$	$36,69 < 37,06 < 37,42$

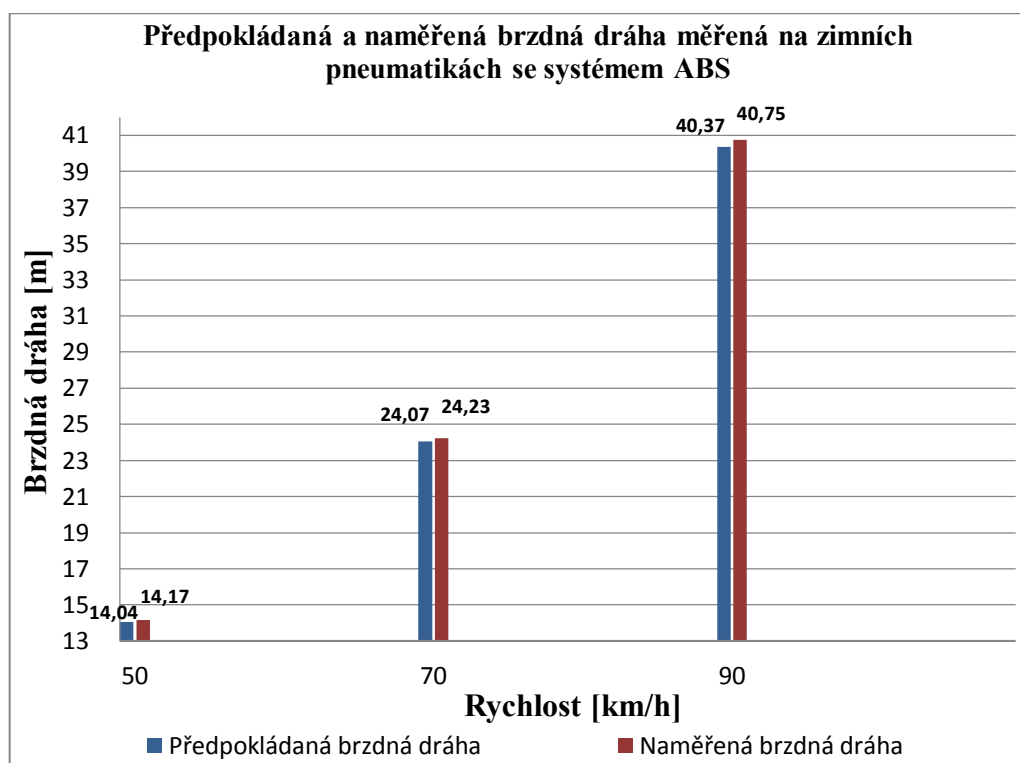
Z vypočtené tab. 13, mohu tedy konstatovat, že z rychlosti 50 [km/h], za daných podmínek, budu schopen s nejvyšší pravděpodobností 99,73% zabrzdit v rozmezí délky brzdné dráhy 12,31 – 13,27 [m]. Z rychlosti 70 [km/h] budu schopen s nejvyšší pravděpodobností 99,73% za daných podmínek zabrzdit v rozmezí délky 21,15 – 22,19 [m]. U rychlosti 90 [km/h], bude velikost brzdné dráhy opět s nejvyšší pravděpodobností 99,73% v rozmezí 36,69 – 37,42 [m].

4.3 Zimní sada pneumatik

V následujících tabulkách uvedu výsledné hodnoty, pro měření za daných podmínek na zimní sadě pneumatik s aktivním systémem ABS a s odpojeným systémem ABS. Jako první uvedu tab. 14, kde jsem měřil na zimní sadě pneumatik s aktivním systémem ABS.

Tab. 14 Brzdné dráhy na zimní sadě pneumatiky se systémem ABS.

Zimní pneumatiky s ABS						
Rychlost	Naměřené brzdné zpomalení	Průměrné brzdné zpomalení	Předpokládaná brzdná dráha	Naměřená brzdná dráha	Průměrná brzdná dráha	Směrodatná odchylka brzdných drah
[km/h]	[m·s ⁻²]	a_b [m·s ⁻²]	l_p [m]	[m]	l [m]	σ
50	6,96 6,88 6,81 6,98 6,84 6,75 6,77 6,84 6,95 6,90	6,87	14,04	13,98 14,15 14,29 13,93 14,22 14,41 14,37 14,22 14,00 14,11	14,17	0,1561
70	7,88 7,83 7,84 7,91 7,67 7,96 7,93 7,85 7,81 7,87	7,86	24,07	24,15 24,29 24,28 24,05 24,81 23,91 24,00 24,23 24,35 24,18	24,23	0,2352
90	7,70 7,74 7,69 7,77 7,76 7,72 7,79 7,72 7,77 7,75	7,74	40,37	40,98 40,75 40,99 40,58 40,65 40,83 40,50 40,90 40,61 40,69	40,75	0,1625



Obr. 18 Grafické zobrazení naměřených dat pro zimní pneumatiky s ABS.

Do tab. 14, jsem vypsál veškerá vyhodnocená naměřená data, které jsou výsledkem tohoto měření za daných podmínek. Pro lepší orientaci a zobrazení výsledku, jsem výsledné brzdné dráhy v závislosti na rychlosti graficky zobrazil v obr. 18.

Tab. 15 Výpočet směrodatných odchylek podle pravidla tři sigma (pravidlo 3σ).

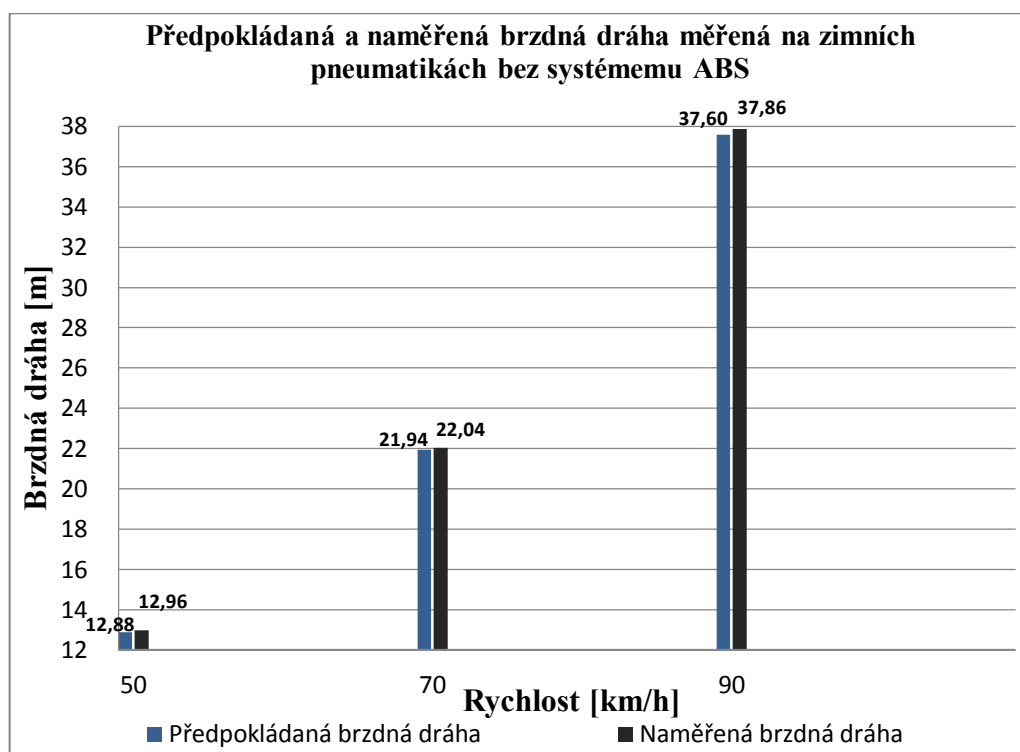
Směrodatné odchylky brzdných drah, měřené na zimních pneumatikách se systémem ABS			
Rychlost	$P(l - \sigma < l < l + \sigma)$ = 68,27%	$P(l - 2\sigma < l < l + 2\sigma)$ = 95,45%	$P(l - 3\sigma < l < l + 3\sigma)$ = 99,73%
50	14,01 < 14,17 < 14,32	13,86 < 14,17 < 14,48	13,70 < 14,17 < 14,64
70	23,99 < 24,23 < 24,46	23,76 < 24,23 < 24,70	23,52 < 24,23 < 24,93
90	40,59 < 40,75 < 40,91	40,42 < 40,75 < 41,07	40,26 < 40,75 < 41,24

Z vypočtené tab. 15, mohu tedy konstatovat, že z rychlosti 50 [km/h], za daných podmínek, budu schopen s nejvyšší pravděpodobností 99,73% zabrzdit v rozmezí délky brzdné dráhy 13,70 – 14,64 [m]. Z rychlosti 70 [km/h] budu schopen s nejvyšší pravděpodobností 99,73% za daných podmínek zabrzdit v rozmezí délky 23,52 – 24,93 [m]. U rychlosti 90 [km/h], bude velikost brzdné dráhy opět s nejvyšší pravděpodobností 99,73% v rozmezí 40,26 – 41,24 [m].

Ve druhé tab. 16, se nacházejí výsledné hodnoty pro měření na zimní sadě pneumatik, ale už s odpojeným systémem ABS.

Tab. 16 Brzdné dráhy na zimní sadě pneumatiky bez systému ABS.

Zimní pneumatiky bez ABS						
Rychlost	Naměřené brzdné zpomalení	Průměrné brzdné zpomalení	Předpokládaná brzdná dráha	Naměřená brzdná dráha	Průměrná brzdná dráha	Směrodatná odchylka brzdných drah
[km/h]	[m·s ⁻²]	a_b [m·s ⁻²]	l_p [m]	[m]	l [m]	σ
50	7,56 7,63 7,44 7,57 7,60 7,38 7,41 7,49 7,45 7,38	7,49	12,88	12,85 12,72 13,05 12,83 12,78 13,16 13,10 12,96 13,04 13,15	12,96	0,1513
70	8,68 8,70 8,61 8,63 8,65 8,67 8,57 8,54 8,60 8,53	8,62	21,94	21,88 21,83 22,05 22,01 21,96 21,91 22,17 22,23 22,09 22,27	22,04	0,1423
90	8,31 8,27 8,34 8,30 8,26 8,27 8,38 8,34 8,33 8,32	8,31	37,60	37,86 38,05 37,72 37,91 38,12 38,08 37,54 37,72 37,77 37,83	37,86	0,1747



Obr. 19 Grafické zobrazení naměřených dat pro zimní pneumatiky bez ABS.

Do tab. 16, jsem vypsál veškerá vyhodnocená naměřená data, které jsou výsledkem tohoto měření za daných podmínek. Pro lepší orientaci a zobrazení výsledku, jsem výsledné brzdné dráhy v závislosti na rychlosti graficky zobrazil v obr. 19.

Tab. 17 Výpočet směrodatných odchylek podle pravidla tři sigma (pravidlo 3σ).

Směrodatné odchylky brzdných drah, měřené na zimních pneumatikách bez systému ABS			
Rychlost	$P(l - \sigma < l < l + \sigma)$ = 68,27%	$P(l - 2\sigma < l < l + 2\sigma)$ = 95,45%	$P(l - 3\sigma < l < l + 3\sigma)$ = 99,73%
50	12,81 < 12,96 < 13,12	12,66 < 12,96 < 13,27	12,51 < 12,96 < 13,42
70	21,90 < 22,04 < 22,18	21,76 < 22,04 < 22,33	21,61 < 22,04 < 22,47
90	37,69 < 37,86 < 38,04	37,51 < 37,86 < 38,21	37,34 < 37,86 < 38,38

Z vypočtené tab. 17, mohu tedy konstatovat, že z rychlosti 50 [km/h], za daných podmínek, budu schopen s nejvyšší pravděpodobností 99,73% zabrzdit v rozmezí délky brzdné dráhy 12,51 – 13,42 [m]. Z rychlosti 70 [km/h] budu schopen s nejvyšší pravděpodobností 99,73% za daných podmínek zabrzdit v rozmezí délky 21,61 – 22,47 [m]. U rychlosti 90 [km/h], bude velikost brzdné dráhy opět s nejvyšší pravděpodobností 99,73% v rozmezí 37,34 – 38,38 [m].

5 Vyhodnocení experimentu

Pomalu se blížíme k závěru celého experimentu, a proto bych chtěl patřičným způsobem vyhodnotit moje výsledná naměřená data. Potřebné výsledky, to znamená veškerá naměřená, vyhodnocená a následně zpracovaná data z jednotlivých typu měření, jsem v kap. 4 detailně rozčlenil do několika tabulek a znázornil pomocí grafů. Pro přehlednost a shrnutí konečných výsledků z kap. 4, jsem vyčlenil tab. 18 a tab. 19. Bohužel z velkého objemu dat a zachování přehlednosti výsledků, jsem byl nucen konečné výsledky rozdělit do dvou tabulek.

V tab. 18 shrnují veškeré konečné výsledky, na základě měření za daných podmínek jen se zapojeným systémem ABS. V prvním sloupci od levého okraje uvádím, zda se jedná o měření na letních pneumatikách nebo zimních. Ve druhém sloupci jsem vypsál jednotlivé rychlosti, ze kterých byla brzdná dráha měřena. Třetí sloupec v tabulce jsem uvedl pro představu rozdílnosti od průměrné naměřené brzdné dráhy, a sice jsou v něm obsaženy předpokládané brzdné vzdálenosti, které jsem vypočítal v kap. 3.5. Předposlední sloupec obsahuje již zmíněné naměřené brzdné dráhy, které jsem z jednotlivých typů měření vyhodnotil, a následně z aritmetického průměru mi vznikly konečné naměřené výsledky brzdných drah. V posledním sloupci jsem uvedl výsledné rozmezí brzdných drah, které nám udávají s jakou pravděpodobností a v jaké minimální až maximální brzdné vzdálenosti bude vozidlo schopné zabrzdit.

Tab. 18 Celkové srovnání brzdné dráhy se systémem ABS.

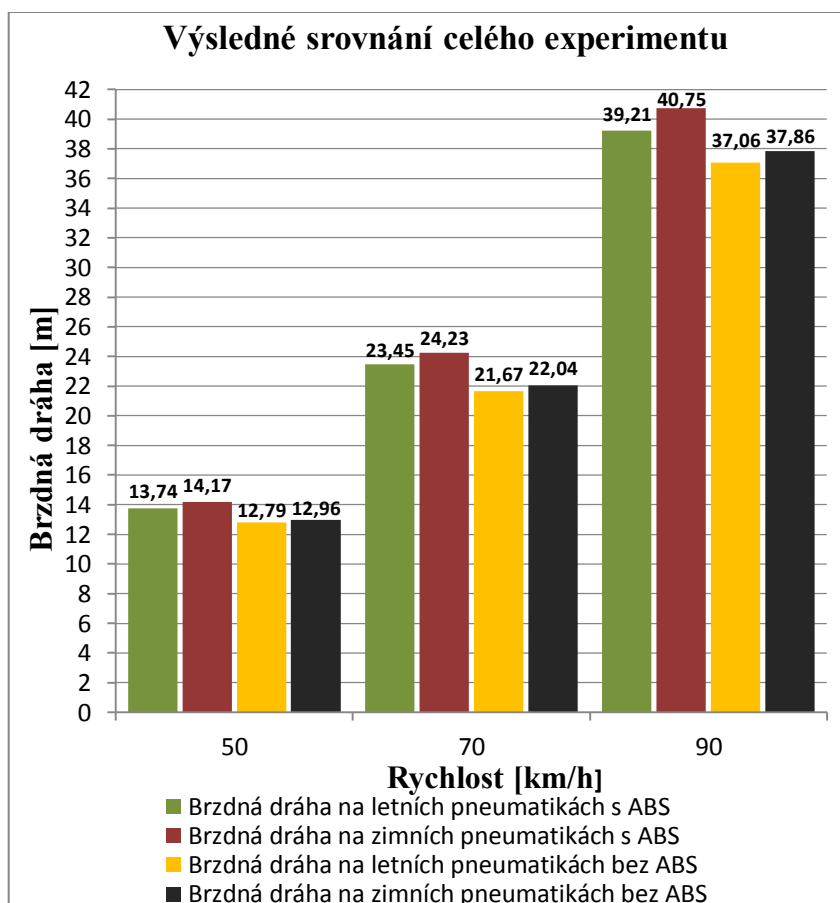
Se systémem ABS				
Pneumatiky	Rychlost	Předpokládaná brzdná dráha	Průměrná brzdná dráha	Rozmezí brzdné dráhy na základě 3σ s $P=99,73\%$
195/65 R15 H88	[km/h]	[m]	[m]	[m]
Letní	50	13,64	13,74	12,95 - 14,53
	70	23,33	23,45	23,15 - 23,76
	90	38,92	39,21	38,81 - 39,61
Zimní	50	14,04	14,17	13,70 - 14,64
	70	24,07	24,23	23,52 - 24,93
	90	40,37	40,75	40,26 - 41,24

Tab. 19 je totožná s tab. 18, jen s tím rozdílem, že shrnuje veškeré konečné výsledky, na základě měření za daných podmínek jen s odpojeným systémem ABS.

Tab. 19 Celkové srovnání brzdné dráhy bez systému ABS

Bez systému ABS				
Pneumatiky	Rychlost	Předpokládaná brzdná dráha	Průměrná brzdná dráha	Rozmezí brzdné dráhy na základě 3σ s $P=99,73\%$
195/65 R15 H88	[km/h]	[m]	[m]	[m]
Letní	50	12,72	12,79	12,31 - 13,27
	70	21,59	21,67	21,15 - 22,19
	90	36,83	37,06	36,69 - 37,42
Zimní	50	12,88	12,96	12,51 - 13,42
	70	21,94	22,04	21,61 - 22,47
	90	37,60	37,86	37,34 - 38,38

Abych dosáhl celkového srovnání naměřených výsledků ze všech jednotlivých typů měření, tak jsem využil vzájemného grafického zobrazení na obr. 20. Zde můžeme vidět, že při jednotlivých rychlostech zde porovnávám brzdnou dráhu na letních pneumatikách s ABS s brzdou dráhou na letních pneumatikách bez ABS a rovněž také porovnávám s brzdou dráhu na zimních pneumatikách s ABS a bez ABS.



Obr. 20 Grafické zobrazení výsledných hodnot celého měření.

Z celkových naměřených výsledků mého experimentu je na první pohled zřejmé, že nejdelší brzdnu dráhu mají zimní pneumatiky se zapojeným systémem ABS. Velikost této brzdne dráhy, je totiž z velké části ovlivněna podmínkami měření. Měření probíhalo za jarních teplot kolem 29,5 [°C], a je obecně známe, což se i v tomto experimentu potvrdilo, že zimní pneumatika při teplotě vyšší než 7 [°C] se na rozehrátém povrchu mnohem více než letní pneumatika rozpíná, a dochází tak ke zhoršení jízdních vlastností a v neposlední řadě hlavně také k prodloužení brzdne dráhy. Druhým hlavním důvodem velikosti této brzdne dráhy je systém ABS, což se opět v tomto experimentu projevilo. Systém ABS neplní funkci takovou, aby zkracoval brzdnu dráhu, ale jak jsem již detailněji popsal v kap. 2.2.6, zabráňuje zablokování kol při plném brzdění tím, že automaticky reguluje brzdnu sílu v třmenech tak, aby nedošlo k zablokování kol. Při zablokování kola by totiž došlo ke ztrátě adheze mezi pneumatikou a vozovkou, a tím by se stalo vozidlo neřiditelné, a proto je brzdna dráha s ABS na suchém povrchu delší.

Druhé celkově nejdelší brzdne dráhy za daných podmínek jsem dosáhnul s letní sadou pneumatik a opět s aktivním systémem ABS. Sada letních pneumatik má na rozdíl od zimní sady pneumatik výhodu v tom, že co se týče jejich směsi ze které jsou vyrobeny, tak určitě mnohem lépe vyhovují podmínkám, za kterých byl tento experiment proveden. Jestliže budu brát na vědomí tuhle výhodu letních pneumatik, a ačkoliv jsem oproti zimní sadě pneumatik dosáhl při daných podmínkách kratší brzdne dráhy, tak stále oproti dalším typům měření, jsem celkově dosáhl druhé nejdelší brzdne dráhy. Dle mého názoru, je to opět způsobené systémem ABS, který jak už bylo zmíněno, na suchém povrchu brzdnu dráhu prodlužuje.

Podle celkový výsledků měření, jsem třetí nejkratší brzdne dráhy, v porovnání s ostatními typy měření dosáhl na zimních pneumatikách s odpojeným systémem ABS. Tento výsledek měření podle mě jen potvrdil už známou teorii, že aktivní systém ABS při brzdění na suchém povrchu prodlužuje délku brzdne dráhy, a proto s odpojeným systémem ABS je tomu opačně. To si vysvětluji tím, že sešlápnutím brzdového pedálu, není brzdna síla v třmenech automaticky regulována takovým způsobem, že nedojde k zablokování kola, a proto jsem schopen kolo lépe zablokovat, a tím pádem dojde ke zkrácení brzdne dráhy.

V porovnání s jednotlivými typy měření a s jednotlivými výsledky těchto měření, jsem nejkratší brzdné dráhy dosáhl s letní sadou pneumatik s odpojeným systémem ABS. Myslím si, že nejkratší brzdné vzdálenosti za těchto podmínek jsem dosáhnul z toho důvodu, že v době, kdy jsem tento experiment prováděl, byly pro tento typ měření nejlepší podmínky. Vysvětluju si to tím, že jsem měřil s odpojeným systémem ABS a taky tím, že letní pneumatiky mají díky svému složení v měřených teplotních podmínkách větší výhodu než pneumatiky zimní. Díky těmto dvou výhodám, jsem oproti ostatním typů měření, dosáhl nejkratší brzdné dráhy z celého experimentu.

Během celého experimentu, jsem se snažil, aby podmínky byly po celou dobu objektivní a výsledky měření co nejpřesnější. Naměřené hodnoty a celkové výsledky pro jednotlivé typy měření, ale určitě můžou vykazovat určité problémy nepřesnosti. V tomto experimentu jsem nepočítal s reakční dobou řidiče. To z toho důvodu, protože jsem věděl v jaké rychlosti a za jaké situace budu brzdit, tudíž by tato hodnota nebyla pro měření zcela objektivní. Další drobný problém nepřesnosti může spočívat v náběhu brzdy, protože touto dobou jsem taktéž z důvodu její velikosti zanedbal. Měřicí přístroj také vykazuje drobné nepřesnosti, ale z oficiálních zdrojů jsou tyto odchylky tak malé, že jsem je pro toto měření rovněž zanedbal. V neposlední řadě další drobné nepřesnosti mohou vzniknout, technickým stavem brzd a brzdové soustavy, zahřátím brzd, zahřátím pneumatik, povětrnostními vlivy, zaokrouhlováním vypočtených hodnot, vyhodnocováním hodnot a určitě několika dalšími faktory. Během experimentu, jsem se snažil tyto nepřesnosti eliminovat, například co nejpřesnějším vyhodnocováním a zaokrouhlováním dat, maximálním počtem opakovaných pokusu měření, jaké mi časové a provozní podmínky dovolovaly.

6 Závěr a doporučení

V této bakalářské práci, jak už z názvu vyplývá, jsem se zabýval brzdnými vlastnostmi vybraného osobního automobilu. Vybraným osobním vozidlem pro tento experiment se stalo starší vozidlo značky Ford. Vybral jsem ho z toho důvodu, protože několik málo dnů před experimentem, vybrané vozidlo úspěšně prošlo technickou prohlídkou. Další důvod byl ten, že jsem k tomuto vozidlu měl k dispozici sadu zimních a letních pneumatik od stejného výrobce, což svým způsobem zkvalitnilo objektivnost výsledných naměřených dat.

Ve vybrané lokalitě s vybraným vozidlem a s příslušným měřicím přístrojem, jsem za předem stanovených podmínek naměřil potřebná data pro tento experiment. Metodika měření byla taková, že jsem opakovaně pro dané rychlosti prudce sešlápl brzdový pedál a měřil velikost brzdné dráhy při tomto prudkém brzdění. Měřil jsem na letní a následně na zimní sadě pneumatik. Na obou typech pneumatik jsem měřil se zapojeným systémem ABS a následně s odpojeným systémem ABS. Cílem mojí práce bylo tedy všechny tyto naměřené metody mezi sebou porovnat a zjistit, jaká metoda měla za daných podmínek nejkratší brzdnou vzdálenost.

Naměřené data jsem vyhodnotil v příslušné počítačové aplikaci, a následně je přehledně vypracoval do tabulek a zobrazil pomocí grafů. Došel jsem k výsledku, že za daných podmínek měření, jsem dosáhl nejkratší brzdné dráhy na letních pneumatikách s odpojeným systémem ABS. Druhé nejkratší brzdné dráhy jsem za daných podmínek dosáhl se zimními pneumatikami s odpojeným systémem ABS.

Z výsledku je tedy patrné, že ABS za našich podmínek měření prodlužuje brzdnou dráhu. Ačkoliv za následek prodloužení brzdné dráhy, tak určitě doporučuji systém ABS používat. Když jsem experiment měřil s odpojeným systémem ABS, tak vozidlo mělo při brzdění tendenci se smykat a bylo mnohem hůře ovladatelné než se systémem ABS. Je tedy důležité systém ABS používat, ale také jako řidiči, si musíme dát pozor na následné prodloužení této dráhy, aby nedošlo k ohrožení naší bezpečnosti, ale hlavně také k ohrožení bezpečnosti silničního provozu.

Myslím si, že tento experiment byl přínosný v několika ohledech. Vyhodnotil jsem data, které mohou být orientačně zajímavá, pro každého řidiče. Dále jsem měl možnost si zajezdit na volné ploše, kde bylo minimální riziko ohrožení bezpečnosti silničního provozu. Díky těmto podmínkám jsem si vyzkoušel veškeré možnosti brzdění, což určitě vede ke zlepšení mých řidičských dovedností a také snad nějakým minimálním procentem ke zvětšení bezpečnosti provozu.

Přehled použité literatury

- [1] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory: hnací charakteristika : brzdění : odpruženost : říditelnost, ovladatelnost : stabilita*. 1. vyd. Brno: VLK, 2000, 434 s. ISBN 80-238-5273-6.
- [2] SKOPAL, L. *Asistenční systémy – protiblokovací systém ABS*: Diplomová práce. VŠB – TUO Mechatronika, 2012, 64s.
- [3] FERIANC, V. *Brzdové systémy automobilov a meranie ich parametrov : bakalárska práca*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2013, 52 s.
- [4] VLK, František. *Motorová vozidla I: Určeno pro posl. fak. strojní*. 1. vyd. Praha: MON, 1989, 224 s. Učební texty vys. škol. ISBN 80-214-0038-2.
- [5] EHK/OSN Předpis č. 13-H, Jednotné ustanovení pro homologaci osobních automobilů z hlediska brzdění.
- [6] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006, vii, 464 s. ISBN 80-239-6464-x.
- [7] ŠIROKÝ, Jaromír. *Mechanika v dopravě II: příklady*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006, 121 s. ISBN 80-248-1252-5.
- [8] Matějka, R. *Vozidla silniční dopravy I*. Bratislava: ALFA Bratislava, 1990. ISBN 80-05-00392-7.
- [9] Originální návod měřicího přístroje Performance Box od firmy Racelogic.
- [10] Originální příručka osobního vozidla Ford Focus Mk1.

Seznam internetových zdrojů

- [11] www.autolexikon.cz
- [12] <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-03-145-160.pdf>
- [13] <http://kds.vsb.cz/mhd/konstrukce-brzdy.htm>
- [14] <http://www.ibesip.cz/cz/ridic/zasady-bezpecne-jizdy/zimni-pneumatiky-v-zime-letni-jen-v-lete>
- [15] <http://www.vutbr.cz/usi/dokumenty/dokumenty-ke-stazeni-f23776/bezpecnost-vozidel-silnicniho-provozu-materialy-k-predmetu-d75943/04-brzdy-p70452>
- [16] http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Moodle/1_7.pdf
- [17] http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Moodle/2_4.pdf
- [18] http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Brzdeni_vozidel_sylab.pdf

Poděkování

Chtěl bych touto cestou na závěr poděkovat mému vedoucímu práce Ing. Michalovi Richtářovi Ph.D. za spolupráci a cenné připomínky při vypracovávání mé bakalářské práce.

Poděkování patří taktéž Institutu dopravy, který mi ochotně zapůjčil měřicí přístroj Performance Box, a také všem dalším, kteří mi ochotně pomáhali a podporovali mě.